

工學碩士 學位請求論文

수중구조물의 유지를 위한 건식 작업용  
케이슨 공법의 개발

Development of Dry Process Caisson Method for Maintenance  
of Submerged Harbor Structure

指導教授 李 重 雨

2007年 2月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

吳 東 訓

本 論文을 吳 東 訓 工學碩士 學位論文으로 認准함.

위원장 工學博士 鞠 承 淇 印

위 원 工學博士 慶 甲 秀 印

위 원 工學博士 李 重 雨 印

2007年 1月 4日

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科 吳 東 訓

# *Development of Dry Process Caisson Method for Maintenance of Submerged Harbor Structure*

*Dong-Hoon Oh*

*Department of Civil and Environmental Engineering  
Graduate School of Korea Maritime University*

## *Abstract*

Together with the trend of enhancement in domestic industrial development and economic progress due to import and export, the demand for construction of the roads, bridges, especially port facilities, and several coastal protection and ocean structures is increasing rapidly. MOMAF of Korean Government is driving construction of 9 new ports and renovation of the existing fishery ports. Among these structures most of bridge base, wharves, dolphins, quays, and jetties are being newly built of steel or concrete pile. As the base, supporting bulkheads, and piles are underwater after construction, it is difficult to figure out the status of structures and not enough to get maintenance and strengthen the structures. Every year, moreover, these works suck the government budget due to higher incomplete maintenance expense for protection from corrosions of structures and increased underwater construction period. For the purpose of cutting down the government budget, it is necessary to extend the life cycle of the existing structures. We developed a new method for maintenance of submerged structures near the waterline by allowing dry work environment with the

floating caisson. The method shows easy to move around the working area and handle. It also showed not only a significant reduction of maintenance expenses and time for anti-corrosion work but also better protection. This will be a milestone to reduce the maintenance and construction expenses for the shore and water structures.



## 목 차

<i>ABSTRACT</i> .....	i
<i>LIST OF TABLES</i> .....	v
<i>LIST OF FIGURES</i> .....	v
<b>제1장 서론</b> .....	<b>1</b>
1.1 연구의 배경 .....	1
1.2 연구의 동향 .....	5
1.3 연구의 목적 .....	6
1.4 연구 방법 .....	12
<b>제2장 연구의 배경 이론</b> .....	<b>15</b>
2.1 건식환경의 필요성 .....	15
2.2 기존의 방식방법 .....	21
2.2.1 부식처리 방법 .....	21
2.2.2 건식 방법 .....	27
<b>3장 DPCM의 개발</b> .....	<b>33</b>
3.1 개요 .....	33
3.2 DPCM의 특징 .....	35
3.3 DPC의 기초 설계 .....	37
3.4 모형 제작 및 외력 계산 .....	40
3.4.1 모형의 제작 .....	40
3.4.2 모형의 외력계산 .....	43
3.4.3 수리 실험 .....	50
<b>제4장 DPCM의 실물 제작</b> .....	<b>48</b>
4.1 실제모형 부품 제작 .....	48
4.1.1 DPCM 장비의 구성 .....	49

4.1.2 DPCM의 기타장비 .....	58
4.2 DPCM의 현장 적용 .....	60
4.2.1 방식작업의 일반적인 순서 .....	60
4.2.2 DPCM의 유의사항 .....	62
4.2.3 DPCM 작업순서 .....	63
<b>제5장 타 공법과의 비교 및 분석 .....</b>	<b>77</b>
5.1 건식공법 측면 분석 .....	77
5.2 부식 방지 공법 측면 분석 .....	78
<b>제6장 결 론 .....</b>	<b>83</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>85</b>

## *LIST OF TABLES*

Table 1.1 Annual corrosion loss of major countries .....	6
Table 1.2 Applicable Port Structures with DPC .....	10
Table 1.3 Status of pile structures in Busan North harbor .....	10
Table 2.1 Corrosion speed of steel exposed to marine environment .....	16
Table 2.2 Sacrificial Anode System and Improessed Current System .....	22
Table 2.3 Comparison of anti-corrosion methods .....	26
Table 2.4 Comparison of existing dry maintenance and strengthen methods .....	32
Table 4.1 Specification of Constructed DCPM .....	68
Table 5.1 Time that make dry environment .....	77
Table 5.2 Economic comparison of coating method and TAPE Protection method of construction .....	78
Table 5.3 Day expense of coating method of construction .....	79
Table 5.4 Day expense of Tape method of construction .....	80

## *LIST OF FIGURES*

Fig. 1.1 Typical pattern of corroded area of steel pile and field survey corrosion data .....	2
Fig. 1.2 Tidal zone of concrete pile and bridge base .....	3
Fig. 1.3 Wave splash zone of jetty .....	3
Fig. 1.4 Wave splash zone of Sheet Pile .....	4
Fig. 1.5 Local Corrosion Example at Splash Zone .....	7
Fig. 1.6 Steel pile of Busan Maritime Police/International Passenger Terminal .....	9
Fig. 1.7 Steel Piles of Shinsundae C.T., Berth No.4&5, Busan .....	11
Fig. 1.8 Schematic Diagram for Sheet Pile Maintenance Work .....	12
Fig. 1.9 Solid Drawing of DPC .....	13
Fig. 2.1 Corrosion Profile of Cathodically Protected Steel Pipe Pile (Tokyo Bay) .....	15
Fig. 2.2 International Corrosion Rates .....	17

Fig. 2.3 Residual Material thickness (mm).....	18
Fig. 2.4 International Lifespan of Steel Pilings.....	19
Fig. 2.5 Examples of Water Front Development(2).....	20
Fig. 2.6 Example of electric Anti-Erosion.....	21
Fig. 2.7 Construction Example of Tape Method.....	24
Fig. 2.8 Temporary wall.....	28
Fig. 2.9 Schematic diagram for Sheet Pile .....	29
Fig. 2.10 Sheet Pile Method for Dry.....	29
Fig. 2.11 Construction Example of DZI.....	31
Fig. 3.1 Schematic diagram for maintenance work with DPCM 1.....	34
Fig. 3.2 Schematic diagram for maintenance work with DPCM 2.....	34
Fig. 3.3 Plan Drawing and Parts Detailed Drawing.....	37
Fig. 3.4 Sectional Drawing and Parts Detailed Drawing.....	38
Fig. 3.5 Solid Drawing.....	39
Fig. 3.6 Front view of DPC Model.....	40
Fig. 3.7 Section view of DPC Model 1.....	41
Fig. 3.8 Section view of DPC Model 2.....	41
Fig. 3.9 Plan view of DPC Model.....	42
Fig. 3.10 Holding kit of DPC Model.....	42
Fig. 3.11 Water Pressure Fig. for buoyancy Pressure account.....	43
Fig. 3.12 Schematic diagram for buoyancy force depending on water level.....	46
Fig. 3.13 Holding test of DPC Model.....	50
Fig. 3.14 Bed Plate Support Test of DPC Model.....	51
Fig. 3.15 Self Plotting Test of DPC Model (Stop).....	51
Fig. 3.16 Bed Plate Support Test of Model (Moving).....	52
Fig. 4.1 Water Gate.....	54
Fig. 4.2 Height Control Hydraulic Cylinders.....	55
Fig. 4.3 horizon Control Hydraulic Cylinders.....	56
Fig. 4.4 Body Open & Close Hydraulic Cylinder.....	57
Fig. 4.5 Variableness Holder for Pile Fix.....	58
Fig. 4.6 Working Floor.....	59
Fig. 4.7 Holding in DPC .....	60
Fig. 4.8 Sanding Machine.....	61
Fig. 4.9 Hydraulic Pump.....	62

Fig. 4.10 Hydraulic Pipe and Controller .....	62
Fig. 4.11 Pollution Protection Fence .....	63
Fig. 4.12 Other Equipment of Work .....	64
Fig. 4.13 Flow Chart of New Construction .....	65
Fig. 4.14 Flow Chart of Repair Construction .....	66
Fig. 4.15 Specification of Constructed DCPM .....	68
Fig. 4.16 DPC Floating .....	69
Fig. 4.17 DPC Moving .....	70
Fig. 4.18 DPC Installation .....	71
Fig. 4.19 Exposed Working Chamber .....	72
Fig. 4.20 Water Jet and Sand Blasting to The Surface of Steel Pile .....	73
Fig. 4.21 Dry Coating on the Clean Steel Pile .....	74
Fig. 4.22 Finished Maintenance Work .....	75

## 제1장 서론

### 1.1 연구의 배경

근래 국내 산업의 고도화와 수출입 증가에 따른 경제력의 상승과 함께 도로, 교량 및 항만시설의 확충과 각종 호안 및 해상구조물의 건설요구가 급증하고 있다.

특히, 도로, 철도 등 육상운송시설과 함께 해상운송의 중추역할을 담당하는 항만시설은 해상의 교각, 돌핀, 안벽, 돌제 등의 다양한 구조물이 철근콘크리트, 강, PC콘크리트로 신규 건설되고 있다. 부산 북항재개발을 비롯한 9대 신항만의 항만기능 감소로 인한 많은 워터프론트 시설이 건립될 예정이고 특히 환경을 고려한 잔교식의 구조물이 많이 생성될 예정에 있다.

국가재정의 절감차원에서 기존 시설물의 내구연한을 연장하는 것도 매우 중요시되어 매년 이들 구조물은 철판거푸집 및 수중 콘크리트 타설 등 완전하지 않으면서 고비용으로 유지 및 보수를 수행해오고 있다.

그러나 이들 구조물의 기초, 하중지지 벽체 및 파일의 대부분은 건설 후 해면 또는 수면 아래에 위치하여 수중에서의 구조물의 상태확인이나 건설 및 보수보강 작업이 원활하지 못하다.

또한 구조물 안정을 위한 차수가 필연적이나 고비용의 케이슨 및 복잡한 설치 등 현장에서의 어려움이 있고, 보수 및 보강을 시행하는 경우에도 대부분 잠수부를 동원한 수중공사를 시행하여야 하므로 공사의 품질관리에 애로가 많다.

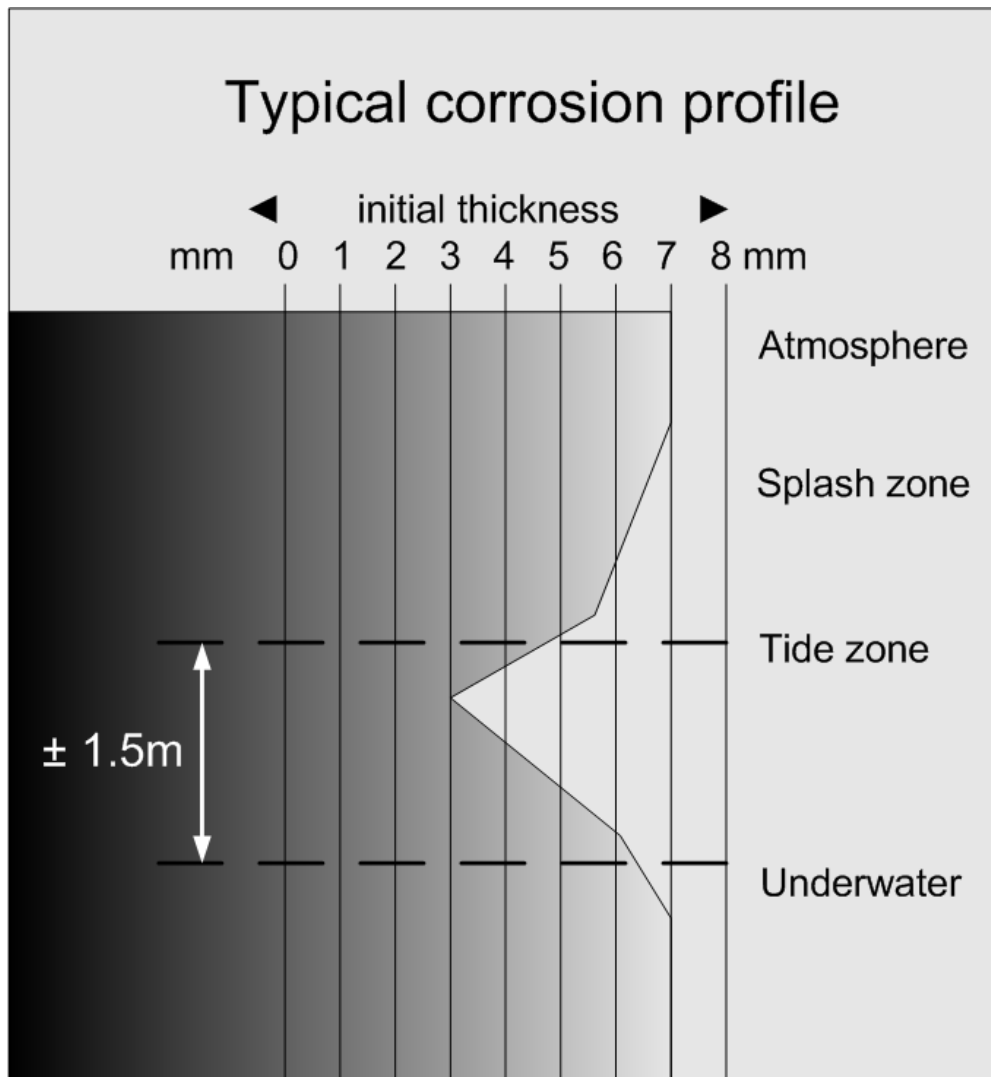


Fig. 1.1 Typical pattern of corroded area of steel pile and field survey corrosion data

Fig 1.1 해상의 각 구간별 부식량을 나타내고 있다. 비말대 구간  $\pm 1.5$  미터 구간이 부식이 가장 심한 것을 알 수 있다.



Fig. 1.2 Tidal zone of concrete pile and bridge base



Fig. 1.3 Wave splash zone of jetty





Fig. 1.4 Wave splash zone of Sheet Pile

Fig. 1.2 ~ Fig. 1.4는 기존 건설된 수중 구조물의 비말대 구간에 대한 부식 진행의 예로 유지 보수가 필요한 구간을 나타낸다. 해양구조물에서 부식으로 인해 강관 등에 손상이 간다면 구조물의 안정에 큰 위험이 된다.

뿐만 아니라, 부식으로 인한 철의 산화물이 해수중에 유입될 경우 수질오염과 어패류의 중금속 오염, 등의 문제를 갖게 된다. 사회의 인식도 많이 바뀌어 구조물의 안전, 미관, 환경적측면에서도 시민들의 관심이 증대되고 있다.

## 1.2 연구의 동향

기존의 수중 구조물의 보수 보강에 대한 연구 동향을 살펴보면 건식 방식 면에서는 흙을 쌓아 올리는 가축도 공법, 주름 철판을 이용한 Sheet pile 공법, 최근 개발된 선암산업개발의 CT 공법 등이 있다. 연구의 방향들이 경제성 측면을 중점으로 개발되고 있으며 공사시간을 단축하기 위한 노력이 계속되고 있다.

수중구조물 방식의 경우 국내외적으로 관심이 높다. 특히 국내에는 보수가 시급한 강관들이 많이 있지만 매년 반복되는 보수공사로 인하여 시간적 경제적으로 국가에 손실을 가져 오고 있다.

특히 방식에 대한 부분에서는 수중부 방식에서는 이미 전기 방식분야가 확실한 것으로 검증되었고 많이 활용되고 있다. 하지만 수중부와 대기부의 중첩 부인 비말대 구간에서는 수중도료, Tape방식공법 등이 있지만 큰 성과를 내지 못하고 있다.

특히 도료 분야에서는 국내 많은 기업들이 연구 개발을 통해 부착성과 내구성이 강한 도료들이 개발되고 있다. 특히 수중 방식을 위해 세라믹제를 첨가한 도료나 인체 무해하면서 부착성이 뛰어난 도료를 국내외적으로 연구개발하고 있다.

### 1.3 연구의 목적

대부분의 금속은 자연 상태에서 산화물이나 황화물 등의 광석으로 존재하며, 여기에 많은 에너지를 가해 환원작용으로 정련하여 금속으로 취하는 것이 보통이다. 따라서 이러한 금속은 자연 상태에서 불안정한 상태에 있다고 보아야 하므로, 그 안정한 상태인 광석중의 산화물이나 황화물로 돌아가려는 자연 발생적인 본능이 있으며, 이에 의하여 금속은 부식생성물인 녹을 형성하기도 하고 때로는 용해해서 소모되기도 한다. 부식은 선체, 기관, 보일러, 해양구조물, 지하매설물, 화공장치, 원자력 발전소의 냉각수 계통 등에서 완만하게 일어나고 있으며 철의 생산량의 10~20%가 부식에 의해서 소모되고 있고 그 경제적 손실은 선진공업국에서도 GNP의 2~3%에 도달한다고 한다. (Table 1.1)

Table 1.1 Annual corrosion loss of major countries

국 명	년 도	부식손실액 (원)	GNP에 대한 비율 (%)	절감 가능액 (원)
미 국	1998	390조	5.0	97조 5천억
일 본	1997	20조	1.8	5조
영 국	1969	4조 1천억	3.5	1조
서 독	1969	7조 9천억	3.0	1조 9천 5백억
소 련	1969	8조 7천억	2.0	2조 2천억
호 주	1973	715억	1.0	178억
한 국	1999	7조 4천억	1.8	1조 8천 5백억



Fig. 1.5 Local Corrosion Example at Splash Zone

Fig. 1.5는 부식으로 인한 구조물의 손상 부분이다. 이러한 부식의 심각성을 인지하고 국내외적으로 많은 연구가 행해지고 있지만 아직도 육상에서 도장한 파일의 성능에 미치지 못하고 있다.

하지만 육상도장 또한 타입시에 균열의 발생으로 부식이 진행될 요지가 있기 때문에 수중에서 부양하여 이동할 수 있는 건식 수중구조물 작업용 케이슨 DPCM(Dry Process Caisson Method)공법을 개발 하게 되었다.

연구는 다음의 몇 가지 사항에 착안하여 개발하게 되었다.

첫째, 파일형 수중구조물의 점검, 보수·보강공사를 건조 상태의 공간에서 공사를 시행한다는 것이다. 지금까지의 수중조사나 수중공사는 잠수부 혹은 수중촬영 장비를 이용한 간접적인 확인결과를 토대로 설계하거나 시행하므로 완벽한 공사를 기대하기 어렵다. 수중작업으로는 공사 품질저하의 가능성이 그 만큼 커지게 되어 양질을 보장하기가 곤란하다. 즉, 건조 상태의 공간에서

육상과 같은 조건으로 공사를 시행해야만 양질의 확실한 품질관리를 달성할 수가 있다는 점이다.

둘째, 기존 항만이나 신규 항만에서 부두의 강관파일을 대상으로 점검, 보수·보강 공사를 하는 경우, 강관파일의 수량이 많으며, 강관파일의 직경이 일정하여 규격화된 조립식 가물막이 장비를 제작하여 반복 사용한다면, 공사기간의 단축은 물론 공사비 절감이 가능하다.

셋째, 수중구조물의 부식으로 인한 주요 손상부위는 수위가 변화되는 비말대나 간만대 부위에 집중되어 있는 경우가 많으므로, 보수 및 보강을 위하여 해저의 토층부까지 차수를 시행할 필요가 없으며 소정의 깊이까지만 차수가 가능한 공법이 경제적이다.

넷째, 해양은 대단히 부식하기 쉬운 환경이며 수심, 온도, 용존산소, 유속, 생물오염 등의 환경인자가 부식에 막대한 영향을 미치고 있고 산업공해 및 각종 약품에 노출된 철구조물은 심각한 부식상태에 처해 있다. 따라서, 해수용 방식의 조건은 방수성, 접착성, 이온전도저항성, 화학적 반응 둔감성, 내구성 및 친환경성 등 물리·화학적 특성과 시공 및 보수의 용이성, 신속성, 경제성 등이 충족되어야 한다.

해양구조물에 있어서 기존의 부식방지 공법으로는 에폭시(EPOXY)방식, 테이프(Tape)방식, 전기방식이 대표적으로 적용되고 있다. 이들 공법의 공통적인 특징은 해양시설물이 설치된 이후 해상에서 방식공사가 진행되어 비말대 시공시 잠수부를 이용하게 되므로 품질확인이 곤란하며, 수중부위는 전기방식을 병행하고 있는 실정이다. 제반 공법에 의한 작업은 조수간만, 풍랑, 등 해수면의 열악한 환경조건에서 시공이 이루어짐으로 인하여 공사가 어렵고 방식재료의 성능이 100% 보장받기가 어려울 뿐만 아니라, 주기적인 보수공사가 이루어져야 구조물의 설계내구연한을 충족시킬 수 있다. 이러한 요구조건을 고려하여, 연구, 제작, 시험 등을 거쳐 새로운 기술을 확보하게 되었으며, 수중

구조물의 보수 및 보강에 대한 연구를 더욱 발전시켜, 언제든지 손쉽게 보수가 가능한 보수장비를 개발하게 되었다.



Fig. 1.6 Steel pile of Busan Maritime Police/International Passenger Terminal

건설중에도 부식이 진행되고 있는 상태를 확인할수 있다.(Fig. 1.6)

Table 1.2는 전국 주요항만의 시설현황이고 Table 1.3은 부산항의 강파일구조물현황이다. 강파일구조물의 대부분이 유지보수가 필요한 실정이다.

Table 1.2 Applicable Port Structures with DPC

Division	Total	Target facilities									
		Gate	Quay	Shall draft quay	Pier	Breakwater , Sea wall	Shed, Storage	Passenger terminal	Bridge	Tunnel	Etc.
Total	554	1	217	111	31	108	41	6	20	2	17
Pusan	47	-	20	7	1	8	8	2	3	-	-
InCheon	42	1	14	4	1	5	11	3	-	-	3
Yeosu	66	-	20	11	3	13	-	-	17	2	-
Masan	76	-	25	16	12	23	-	-	-	-	-
Ulsan	41	-	36	-	-	4	1	-	-	-	-
East sea	63	-	27	10	-	20	2	-	-	-	4
Kunsan	19	-	6	5	1	-	3	-	-	-	4
Mokpo	55	-	13	19	11	6	-	1	-	-	5
Pohang	58	-	24	14	-	11	9	-	-	-	-
Jejudo	59	-	17	23	-	15	3	-	-	-	1
Daesan	10	-	3	2	2	3	-	-	-	-	-
C.T	16	-	12	-	-	-	4	-	-	-	-

Table 1.3 Status of pile structures in Busan North harbor

부산항의 기존 강관파일 현황				
부두명	강관파일규격	수량(개)	준공년도	비 고
2부두 남측	φ711.2, 12~16t	812	2003	21,22호 상옥하부
	φ800, 16t	64		
신감만부두	φ711.2, 14t	1,779	2000	
자성대 5,6번 선석	PC파일 + 강관 φ600, 12t	284	1996	
자성대	φ812.8, 14t	438	2002	자성대부두 확장구간
신선대 4번 선석	φ711.2, 14t	610	1997	2004.10.15~12.15 (41개보수보강)
부산항의 기존 강관파일 현황				
부두명	강관파일규격	수량(개)	준공년도	비 고
2부두 남측	φ812, 12t	257	2004 ~2005	
	φ914, 12~14t	279		





Fig. 1.7 Steel Piles of Shinsundae C.T., Berth No.4&5, Busan

Fig. 1.7은 현재 부식이 진행되고 있는 부산항의 4부두와 5부두 교각의 부식 모습이다.



## 1.4 연구 방법

이러한 문제점을 해결하기 위해 시트 파일의 요철면과 같은 일정하지 않은 수중 구조물의 외벽에 대하여 효과적으로 차수하여 완전히 건조한 상태의 작업 공간을 확보하기 위한 사각형 케이슨(Fig. 1.8)의 형태로 수중 구조물을 보수하는 방법을 예로 들 수 있다.

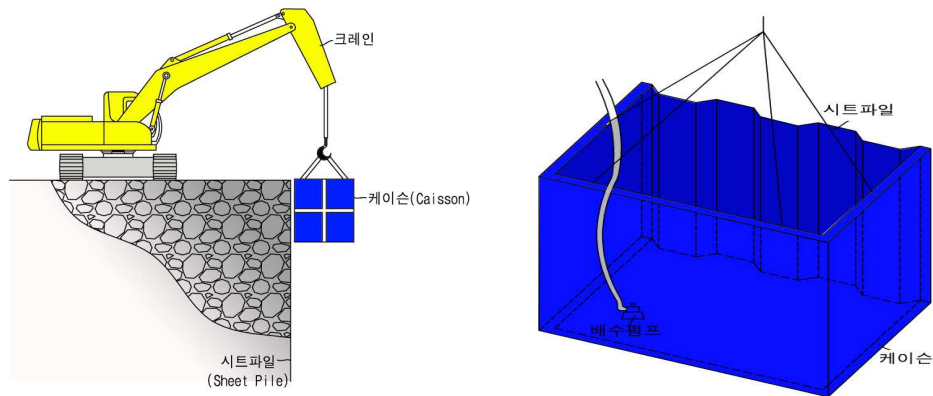


Fig. 1.8 Schematic Diagram for Sheet Pile Maintenance Work

그러나 본 연구에서는 국내 많은 항만에서의 교각, 돌제, 돌핀과 같은 시설에서 콘크리트 파일이나 강파일이 사용되고 있고 이미 시공된 직항 및 사항의 비탈대 구간 및 기초구간에 대해서 대규모로 보수작업이 시급한 상태라 작업 케이슨의 규모가 작고 단위구조물로 이동이 용이한 파일구조에 분할 몸체를 조립한 다음 몸체 내부의 물을 배수하여 몸체 내부 공간을 건조환경으로 만들어 줌(Fig. 1.9)으로써 평면이 아닌 입체적인 면에 대한 작업을 수행할 수 있는 수중 구조물 작업용 케이슨의 개발을 시도하였다.

수중구조물 작업용 케이슨은 몸체 내부 공간을 건식환경으로 만들어 줌으로써 평면뿐만 아니라 입체적인 면까지도 작업을 수행할 수 있도록 하여야 한다. 수중공사의 대상구조물 특성상 요철이 있는 시트파일용, 원통교각이나 돌제부두의 파일 및 대형 돌핀구조물의 수중작업 공간을 조건에 따라 다양한 케이슨을 유닛으로 개발하여 합치거나 일체식으로 제작하여 작업장에 투입하는 것을 목표로 한다.

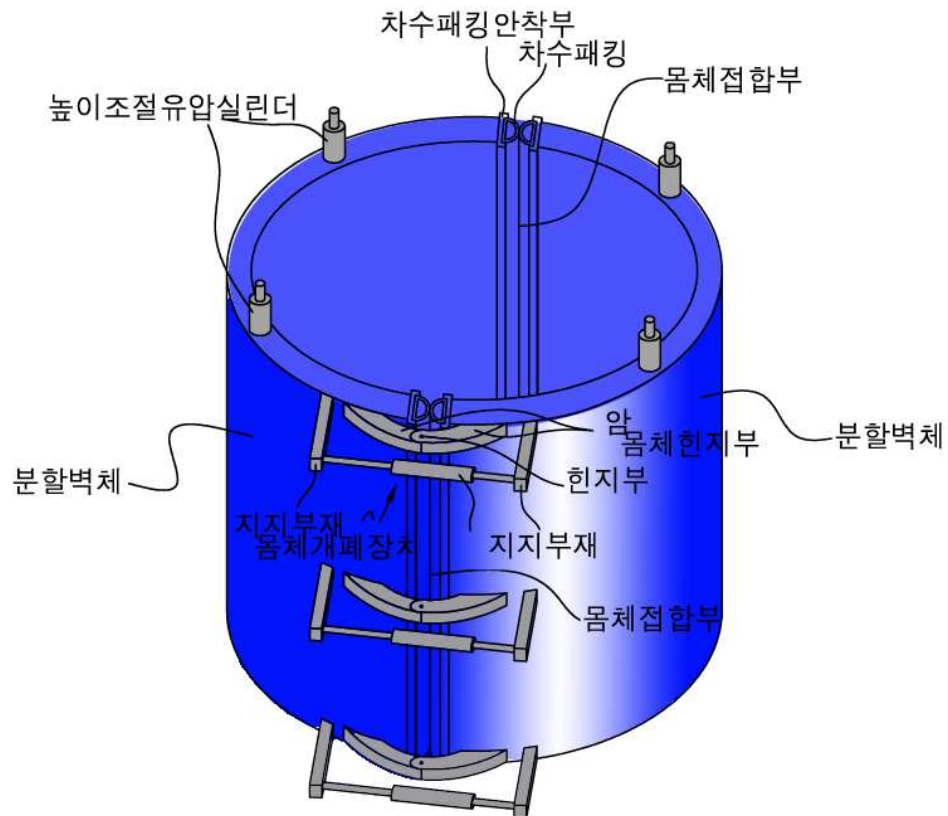


Fig. 1.9 Solid Drawing of DPC

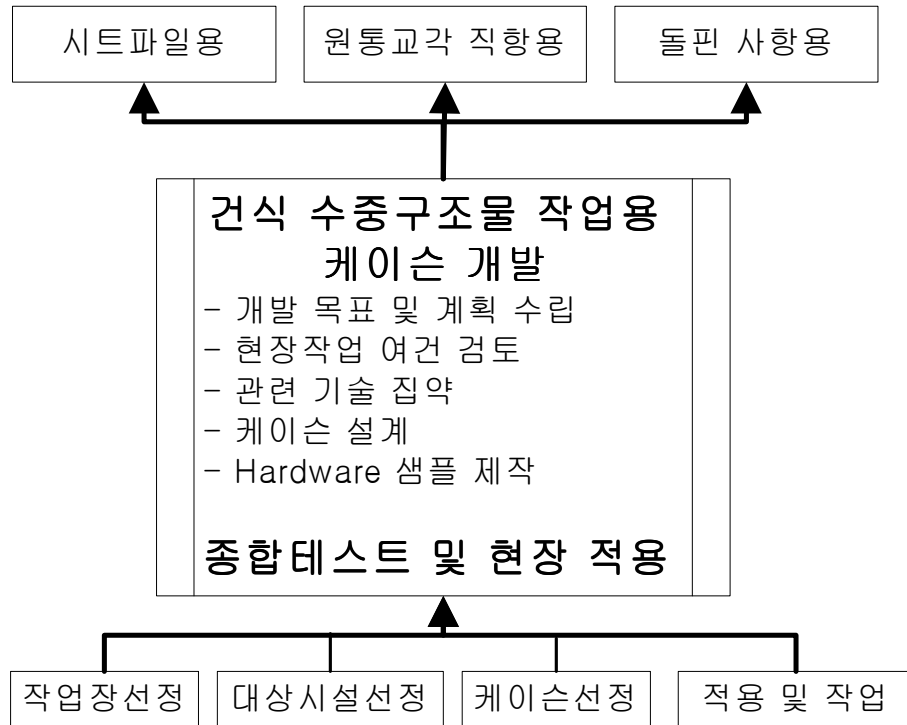


Fig. 1.10 Development Flow Chart of DPCM

Fig. 1.10는 일반적 항만 또는 수로에서의 보수 보강 작업공정의 흐름도를 나타낸다. 현장 작업종류 및 여건에 따라 주로 시트파일연속벽체, 원통교각파일, 돌핀구조물 등 3개 분야에 대한 건식케이스를 고려할 수 있으나 개발 대상이 광범위하므로 1단계로 돌핀, 돌제의 직향 및 사향용 건식 수중구조물 작업용 케이스 개발에 목표를 두고 제반 수리학적 유체 거동에 따라 설계를 한 후, 시험구조물제작에 반영하여 실제시공에 이르는 과정을 밟아 개발하였다.

## 제 2 장 연구의 배경 이론

### 2.1 건식환경의 필요성

해상 환경이 육상 환경에 비해 부식 속도가 10배 이상 빠르다는 것은 널리 알려진 사실이다. 하지만 수중에서 방식 처리 하는 방법은 한계를 가지고 있다.

수중페인트를 사용하게 되는 경우에는 해상의 오염을 가져올 뿐만 아니라, 작업자의 상태에 따라 많은 질적 차이를 가져오고 뿐만 아니라 일일 작업량이 한정되어 있어 많은 양의 돌제 부두를 단기간 내에 처리하기에는 어려움을 가지고 있다.

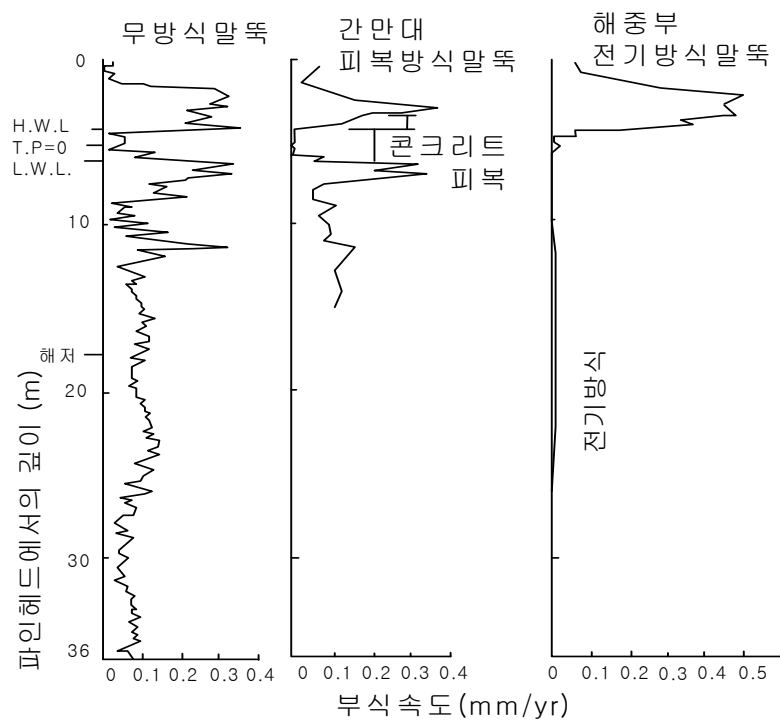


Fig. 2.11 Corrosion Profile of Cathodically Protected Steel Pipe Pile(Tokyo Bay)

그리고 이러한 단점을 보완하기 위해 테이핑 방식의 처리 방법이 있지만 이것 또한 파력 또는 접착력의 저하로 인하여 흘러내리게 되고 내부로 물이 침투하여 오히려 부식을 더 악화 시키게 된다.

또 다른 방법으로 육상에서 파일을 도장하여 관입하는 것이 효과적이긴 하지만, 이것 또한 대상구간으로 이동시나 파일 관입 시에 균열이 생겨 완벽한 처리가 어렵다.

결국 완벽한 방식을 위해서는 파일의 관입 후에 비말대 구간을 건식환경으로 만든 후에 방식 처리를 하는 것이 효과적이다.

Table 2.4 Corrosion speed of steel exposed to marine environment

해양환경	시험재의 모양	측정데이터 수	부식속도(mm/yr)
해상 대기부	부식시험편	19	0.128
	평 균	<b>19</b>	<b>0.128</b>
비말대	강널말뚝	8	0.112
	강관말뚝	1	0.25
	H형강말뚝	2	0.198
	부식 시험편	16	0.363
	평 균	<b>27</b>	<b>0.272</b>
간만대	강널말뚝	35	0.044
	강관말뚝	4	0.070
	H형강말뚝	2	0.055
	부식 시험편	27	0.137
	평 균	<b>68</b>	<b>0.083</b>
평균 간조선 (L.W.L.)	강널말뚝	42	0.047
	평 균	<b>42</b>	<b>0.047</b>
해중부	강널말뚝	59	0.039
	강관말뚝	5	0.062
	H형강말뚝	3	0.049
	부식 시험편	61	0.143
	평 균	<b>128</b>	<b>0.090</b>
해저 토중부	H형강말뚝	2	0.033
	부식 시험편	3	0.103
	평 균	<b>5</b>	<b>0.075</b>

Fig. 2.1은 방식 방법별 부식의 진행도를 나타낸 그림이다. 실제 비말대 구

간은 방식이 제대로 되지 않는 것을 확인할 수 있다. (Katsutomo Okamoto (1995)). Table 1.1은 강관의 구간별 부식 속도를 나타낸 실험결과이다. 역시 전체적인 부식의 진행속도가 말뚝 종류에 관계없이 비말대구간이 빠른 것을 확인할 수 있다.

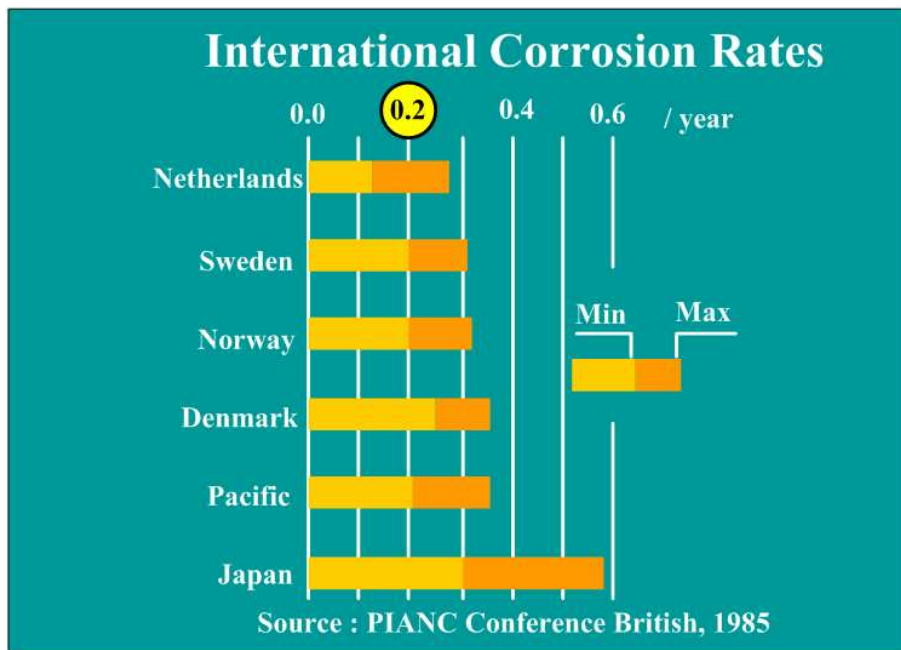


Fig. 2.12 International Corrosion Rates

Fig. 2.2는 각 국가별 연간 부식률을 비교해 놓은 도표이다. 각 국가적으로 부식으로 인한 손실이 많음을 단적으로 보여주는 부분이다.

Fig. 2.3은 네덜란드의 항만 Vlieland 와 Terschelling에서 부식 진행을 계측하여 나타낸 자료로 평균저조면에서 각각 최고 7mm 와 6.8mm의 두께 감소가 나타났음을 알 수 있다.

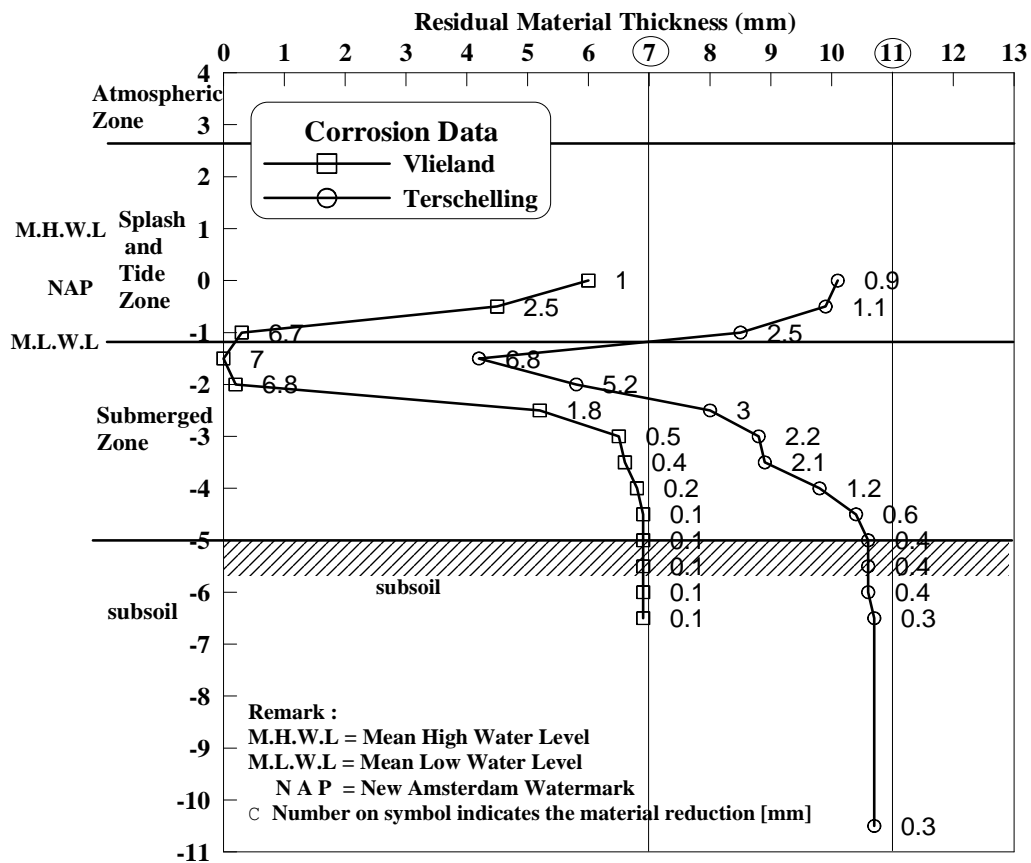


Fig. 2.13 Residual Material thickness (mm)

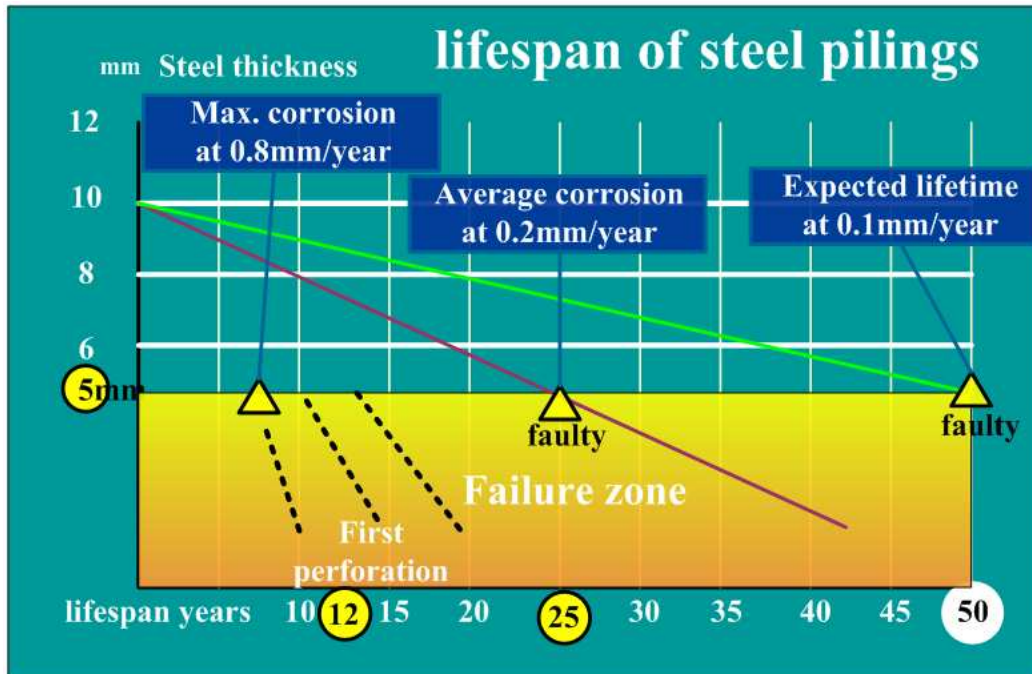


Fig. 2.14 International Lifespan of Steel Pilings

Fig. 2.4는 자연 상태의 강관 부식의 내구연한과 방식작업을 했을 경우의 내구연한을 단적으로 비교해놓은 도표이다. 방식을 하지 않았을 경우 12년의 내구연한을 가지고 방식처리를 하였을 경우 약25년 정도의 내구연한을 보이고 완벽한 방식처리를 하였을 경우 최대 50년까지 내구연한을 보장할 수 있다는 연구 보고이다.





Fig. 2.15 Examples of Water Front Development(2)

Fig. 2.5와 같은 앞으로 건축될 다양한 강관식 해상구조물들도 수명연장을 위해 보수가 필요하다.

## 2.2 기존의 방식방법

### 2.2.1 부식처리 방법

기존의 부식 처리 방법으로는 육상도장 공법, 전기방식공법, Tape 공법, 수중도장 공법 등의 방법이 있다.

기존에 검증된 가장 우수한 효과를 보이는 방법은 육상도장 공법이다. 본 연구개발로 완벽한 건식환경을 제공한다면 기존의 육상도장 공법과 동일한 효과를 보일 수 있을 것으로 예상된다.

#### 1) 철구조물의 방식 공법

##### (1) 전기방식

전기방식은 일반적인 해양 환경하에서 장기방식 공법으로 많은 사용 실적이 있으며 그 성능도 입증되었으나 비말대와 해상 대기부는 전기방식의 효과가 전혀 미치지 않아 이 부위는 피복 방식 공법이 필수적임을 알 수 있다.

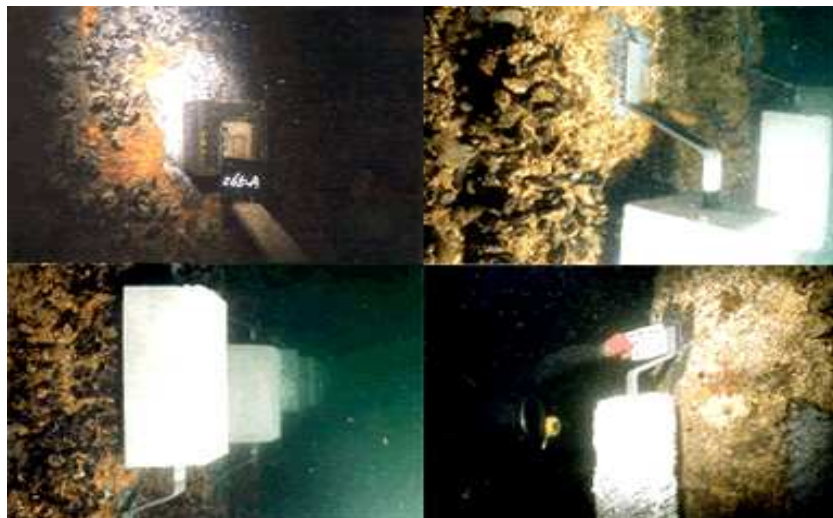


Fig. 2.16 Example of electric Anti-Erosion

방식 전류가 항상 통할 수 있는 수중에서는 방식효과가 있으나 간조수위 이상의 조수 간만대, 비말대부, 해상 대기부 구역은 방식 효과가 미치지 못한다. 더구나 외부 전원방식을 도입할 경우에는 별도의 전원공급을 위한 설비와 정류기 설비를 설치하여야 하며 전문 운영요원을 갖추어야 한다. 별도의 희생 양극방식의 경우는 양극의 수명이 있어 주기적인 점검과 교체가 필요하다. 전반적으로 전기방식의 경우에는 주기적인 검사 및 보수·보강 시 잠수부에 의한 수중작업이 필수적이다. 이와 같은 특성이 있어서 전기방식 단독으로는 해상구조물의 근본적인 방식방법이 될 수 없으며 대체로 별도의 피복방식 방법과 병용하여 사용하는 것을 추천하고 있다

전기 방식법에는 크게 2가지 방법이 있다. (Table 2.2 참조) 지속적으로 전기를 공급하는 방법과 전극 성질을 가진 아연 도금을 하여 화학적 방법으로 해수와의 결합을 통해 부식을 방지하는 방법이 있다.

Table 2.5 Sacrificial Anode System and Improessed Current System

구 분	외부 전원법	희생(유전) 양극법
효과성	1. 대규모 구조물에 효과적 2. 효과 범위가 넓다 3. 인접 시설물에 전식 영향의 가능성이 있다	1. 소규모 구조물에 효과적 2. 효과범위가 좁다 3. 양극의 분산 설치가 가능하므로 전류 분포 균일 4. 인접한 타 시설물에 영향없음
시공성	1. 협소한 장소에 설치 가능 2. 타 공사에 영향이 없다 (독립적 작업 가능)	1. 시공이 간단하고 편리 2. 타 공정에 영향을 줄 수 있다
경제성	1. 소규모 구조물 : 고비용 2. 대규모 구조물 방식시 초기투입비가 저렴 3. 지속적 전원공급을 요하므로 유지비 필요	1. 소규모 구조물 : 저렴 2. 대규모 구조물 : 양극당 출력 전류가 적어 많은 양을 설치해야 하므로 자재비, 인건비가 외부전원법 보다 많이 소요 3. 비저항이 높은 환경에는 비경제적
유지관리	1. 시공후 정류기 조정으로 전류조정이 가능 2. 정류기 및 배관, 배선등 유지관리 필요	1. 인위적인 유지관리 불필요 2. 전류 조절이 불가능

## (2) Tape 공법

Tape공법은 해양구조물이 설치된 상태에서 석유계 포화탄화수소, 불활성 무기물 충전제, 특수발청 억제제와 배수 작용제 등으로 구성되어 있는 페이스트(Paste)상의 콤파운드를 테이프로 표면 처리된 금속면에 접착시키고 FRP 보호커버를 씌운다. 페이스트상의 콤파운드는 휘발되거나 경화되지 않는 성질을 갖고 있으며 금속표면에 항상 점성을 갖고 밀착되어 있기 때문에 수분, 공기, 전해질의 접촉을 차단시키고 물리 화학적 부식을 방지한다. 이 공법은 완벽한 시공을 할 경우 방식 효과가 비교적 우수한 편이며 기존 구조물의 보수작업에 적용하여 수중작업도 가능하나 품질확인이 곤란한 면이 있다.

그러나, 작업특성상 구조물 설치 후 또는 말뚝 항타 후에 본 공법을 적용하여야 하므로 작업능률이 현격히 떨어진다. 적절한 방식효과를 얻기 위해서는 간조수위 이하까지 피복하여야 하므로 수중작업이 필수적이고 이때 표면을 처리할 때와 콤파운드를 수중 도포할 때 심각한 수질오염이 유발된다. 아울러 수중작업시 안전사고의 위험성이 높다는 단점이 있다.

그 외에도 적용 가능한 범위가 제한되어 강관벽말뚝이나 강널말뚝 등과 같이 복잡한 형상, 요철부위, 평면부위에는 테이프 보호커버를 설치할 수 없고, 설치 후 점검이 어렵다. 특히, 하절기 고온에 의한 페이스트상의 콤파운드의 점도가 낮아져 커버 하부로 유실되어 방식효과가 없어질 수 있으며, 외부 충격에 의한 커버의 손상 등의 이유로 커버 내부로 해수의 유입 등 커버 내부에서의 부식진행 상태의 점검이 곤란하다. 복잡한 시공과정과 작업의 제한성 등에 의해 과도한 공사비가 소요되며 테이프 공법의 주요자재도 수입하여야 하므로 고가이다.

이 공법은 영국에서 개발되어 과거에는 해상구조물과 강관말뚝에 많은 적용 실적이 있었으나 시공의 복잡성, 공해 유발성과 과도한 초기 투자비 등의 문제점 때문에 근래 선진국에서는 신설보다는 제한적인 보수용으로 많이 사용하

고 있는 실정이다.

Fig. 2.7은 테이프방식공법 중에서 FRP 보호커버를 분리한 상태이다. 실제 테이프는 해수 중에 녹아서 떨어지고 부식이 진행되고 있는 상황을 확인 할 수 있다.



Fig. 2.17 Construction Example of Tape Method

### (3) 수중 경화도료 피복방식 공법

해양 구조물 또는 말뚝을 설치된 상태에서 표면처리 후 수중 경화형 에폭시 수지도료를 여러 차례 반복도장으로 원하는 도막을 형성시킨다. 이 공법은 시공이 비교적 단순하고 요철부나 복잡한 형상에 적용이 비교적 용이하며, 수중 시공이나 보수가 가능한 점이 특징이다.

그러나, 해양구조물 또는 말뚝이 설치된 상태에서 표면처리를 하여야 하므

로 작업이 복잡하고 공해가 유발되며, 두꺼운 도막 형성이 어렵고 해수에 대한 내구성이 떨어져 방식수명이 짧다. 수중작업시 안전사고의 위험성이 높고, 반복도장을 시행하여야 하므로 시공기간이 길다. 또한, 도막두께가 불균일하고 작업이 번거롭다. 통상 초기 접착강도는 높으나 해수와의 열팽창계수 등의 차이로 인한 균열발생이 쉬우며 발생한 균열의 확산이 빠르게 진행된다. 아울러 떠내려오는 해상 부유물 등의 충격에 취약하다.

결과적으로, 작업의 번거로움과 시공환경의 열악함에 비하여 내구년한이 짧으므로 해상구조물보다는 육상구조물에 적합하거나 제한된 면적의 부분 보수용으로 추천된다.

#### (4) 폴리에틸렌 피복 방식공법

공장에서 표면처리한 구조물 또는 말뚝 (강관말뚝에 한함)에 고가의 특수도포기를 이용하여 폴리에틸렌을 도포 가열하여 피복 한 후 현장에서 시공한다. 이 경우 공장에서 바로 코팅하므로 현장시공이 간편하고 방식효과가 우수한 것이 특징이다. 형상이 단순하여 대량 생산시 시공비가 저렴하다. 재료의 특성상 작업소가 제한적이며 현장 작업은 불가능하고 이미 시공된 구조물의 수중작업이 불가능하다. 또한, 형상이 복잡하거나 요철이 있는 경우에 적용하기 어렵다.

따라서, 폴리에틸렌 피복공법은 시공성과 내구성이 우수하고, 원형과 같이 형상이 단순하고 대량일 경우에는 비용도 저렴하지만 강관 벽말뚝이나 널말뚝의 경우처럼 형상이 복잡한 곳에는 적용이 불가능하고 고가의 증장비인 특수도포기가 필수적이므로 현장시공이 불가능하고 적용성이 제한적이다.

이상의 각 방식처리공법의 특성을 정리하여 비교하면 Table 2.3과 같다.



Table 2.6 Comparison of anti-corrosion methods

구분	육상 도장공법	전기방식
주용도	· 해안접안시설	· 해안접안시설
시공 및 작업성	· 전체부위 완전 육상작업 (폴리에틸렌 피복) · 수중작업 곤란 · 수중 보수·보강 불가	· 초기공사비 과다
장점	· 내수, 내해수성 양호 · 방식효과 양호	· 수중부의 방식성능 우수
단점	· 1회 도장작업 두께는 100 $\mu$ m 내외임 · 수중작업 곤란 · 시공과정 중 도장손상	· 공사비 고가 · 해상 대기부의 방식성능 불량 · 지속적인 관리필요
구분	Tape 공법	수중재료사용공법
주용도	· 강관 Pile의 비말대 및 간만 대 방식용	· 수중 보수 보강용
시공 및 작업성	· 수중작업 · 부분 보수 어려움	· 잠수부 수중도포 · 장시간 작업 불가 · 반복도장으로 시공기간 길어짐
장점	· 수중 작업 가능 · 방식효과 양호	· 수중 작업 가능
단점	· 방식 Tape 보호를 위해 Cover 설치 · 공사비 고가 · 시공후 부식 진행상태 검사 불가 · 도장면 완벽 지수 곤란	· 고가의 도료 사용 · 재료의 손실을 과다로 시공비 고가 · 도막두께 불균일 · 도막균열발생 우려

### 2.2.2 건식 방법

건식 공법으로는 가축도 공법, Sheet Pile 공법, DZI 공법, 가물막이 공법 등이 있다.

강관 파일을 위한 가장 경제적인 방법은 가물막이 공법이지만 이것 또한 많은 장비와 인력이 투입 되어야 하고 한 개의 파일을 보수하기 위해서는 장시간이 소요되게 된다. 소요 시간은 경제성 측면과 연결된다.

본 연구개발에서는 가물막이 공법에 부유체식으로 제작하여 인원 및 시공시간을 획기적으로 줄여 비용 및 시공기간 면에서 큰 효과를 가져 올 것으로 기대된다.

#### 2) 건식 보수·보강 장비의 비교 검토

##### (1) 가축도공법

다량의 토사를 성토하여 가물막이를 설치한 후 내측의 물을 배수하여 건조상태에서 작업을 시행하는 단순한 공법이다. 보통 가축도를 적용하는 경우는 물의 조정이 자유로운 곳(저수지), 갈수기에 수심의 얇은 곳, 또 하천의 오염에 민감하지 않아서 하천을 한쪽으로 돌려쳐 가설 할 수 있는 곳 등이다. 축도 형성시 오탁 발생이 심하여 수질오염 및 환경파괴가 우려되며, 축조에 장기간이 소요되며 토사유실로 인한 축도붕괴 위험이 있고, 강관파일의 간단한 보수·보강을 목적으로 하기에는 공사비와 공사기간의 손실이 심하다.



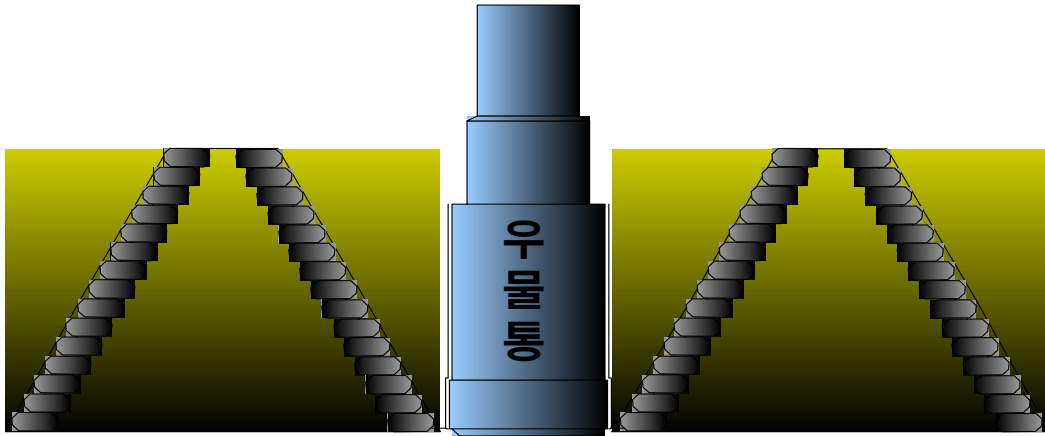


Fig. 2.18 Temporary wall

## (2) Sheet Pile 가물막이 공법

Sheet Pile을 연결하여 가물막이를 형성한 후 내측의 물을 배수하여 건조 상태에서 보수·보강 및 신설작업을 할 수 있게 하는 방법이다. Sheet Pile만으로 가물막이를 할 수 없으며 특히 심도가 깊은 수중에 연결하여 항타할 때 지반조건과 마찰력에 의하여 변형이 쉽게 발생해 시공성이 불량해지고, Sheet Pile 시공비 이외에 외측수압에 저항할 수 있는 축도형성과 철거공사비가 추가로 소요된다.

뿐만 아니라 시공시에 태풍과 같은 위험인자가 발생할경우에 장비 유실 및 구조물의 안전에도 크게 위협할수 있다.

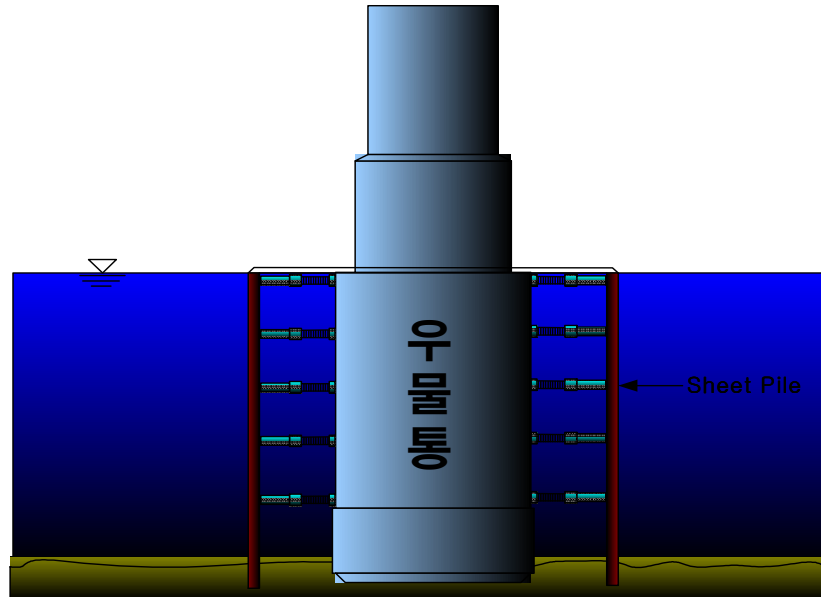


Fig. 2.19 Schematic diagram for Sheet Pile



Fig. 2.20 Sheet Pile Method for Dry

### (3) 철판 건식작업환경(DZI) 공법

연전에 개발된 유럽의 신기술 즉, 벨기에의 Acotec사의 특허인 건식작업환경 DZI(Dry Setting Installation)을 적용해서 최근북미 필라델피아 뉴저지 해안선을 따라 내부수로 (Point Pleasant Canal)의 양쪽뱅크를 따라 건설된 강시트파일 격벽의 비말대 구간에 대해 건식검사 및 유지보수작업을 성공적으로 수행하였다. 이 장비는 수중작업에 잠수부 대신에 소형 이동식 잠함(Cofferdam)이 사용된다.

DZI의 핵심은 특허를 받은 강재 및 고무 합성유니트로 설계하여 각기 다른 격벽모양에 잘물리도록 한 것으로 Fig. 2.11左와 같이 1면 개방 3면 폐쇄의 사각형 박스로 개방면이 격벽에 접촉하는 구조로 되어 있으며 격벽과는 수밀구조를 취하기 위하여 고무패드(Fig. 2.11右)를 부착하여 육상 또는 선박에서 크레인으로 들어 설치하도록 되어있다. 잠함내에서 건식상태에서 안전하게 검사를 하거나 보수작업을 할 수 있도록 수면아래의 펌프로 잠함내부의 물을 배수한다. 모든 보수장비는 Pontoon Barge에 적재되어 항만에서 다른 하역작업에 방해가 되지 않도록 되어 있으며, 필요시 육상크레인에 의해 DZI를 작동시킬 수도 있다. DZI는 한번에 안벽길이 5M 단위로 작업할 수 있고 Tidal Level에 따라 깊이를 조정할 수 있다. 또한 DZI 내부에서 안벽에 쉽게 접근할 수 있게 그 내부에 발판이 설치되어 있다.

DZI는 그 활용이 평면형 Sheet Pile에 국한되고, 장비를 부착하여 배수한 후에는 수압에 의해 장비를 지지하는 구조로 되어 있다. 또한 구조물 자체의 큰 부피와 무거운 자중으로 인해 항상 크레인을 동원하여야 하며, 작은 강관파일의 가물막이용으로는 적합하지 않다.



Fig. 2.21 Construction Example of DZI

이상의 각 건식 보수·보강 공법의 특성을 정리하여 비교하면 Table 2.4와 같다.

Table 2.7 Comparison of existing dry maintenance and strengthen methods

구 분	가축도 공법	Sheet Pile 공법
주용도	· 콘크리트 우물통기초 보수 · 보강	· 콘크리트 우물통기초 보수 · 보강
특허유무	무	무
시공 및 작업성	· 시공 및 작업성 어려움	· 시공 및 작업성 어려움
장 점	· 작업공정 단순	· 안정성 확보
단점	· 공사비 고가 · 환경파괴 가능성 · 축도붕괴의 위험성 있음	· 공사비 고가 · 철거공사비 추가부담
구 분	DZI	가물막이 공법
주용도	· 해안 Sheet Pile 보수 · 보강용	· 해안강관파일 보수 · 보강
특허유무	유	준비중
시공 및 작업성	· 시공 및 작업성 비교적 간단함	· 시공 및 작업성 부분 개선됨
장 점	· 장비설치 절차 간단	· 건식환경제공
단점	· 공사비 고가 · Sheet Pile에만 국한	· 시공시 공사구조물 설치 및 이동에 시간 소요 (체인 사용)

## 제 3 장 DPCM의 개발

### 3.1 개요

현재 우리나라에서 여러 종류의 해양구조물 중 비말대나 간만대에 위치한 강관파일 및 기타 철, 콘크리트구조물에 대하여 보수·보강을 위한 시공은 잠수부를 투입하여 수중작업을 통해 이루어지므로 공사품질 및 시공이 비효율적이며 관리감독에 애로사항이 많다. 이를 건식케이슨을 이용하여 구조물의 수중부를 건식화하여 육상구조물과 동일한 환경에서 시공하므로 고품질의 시공과 관리감독이 용이하도록 하는 공법이 필요한 것이다.

본 연구에서 새로이 개발한 DPCM (Dry Process Caisson Method for Submerged Structure : 수중구조물작업용 건식케이슨 공법)을 이용하여 철제 구조물인 해상강관파일의 보수·보강을 손쉽게 할 수 있는 공법이다.

환경문제가 날로 심각해져 가는 현시점에서 본 기술은 강관파일의 보수·보강 공사시 수중작업으로 인한 오염발생 요인을 제거하였고, 장비내부에서 발생하는 건설보수공사 폐기물의 전량 수거처리가 가능하여 수질오염발생의 원인제거 및 공사구조물의 대형화를 피해 최소단위화 시킨 환경친화적인 기술로 인정받을 것이다.

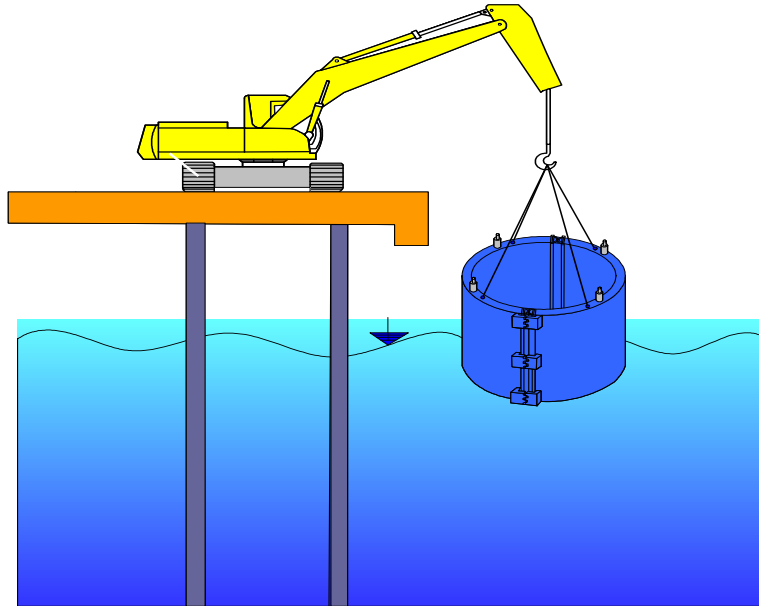


Fig. 3.22 Schematic diagram for maintenance work  
with DPCM 1

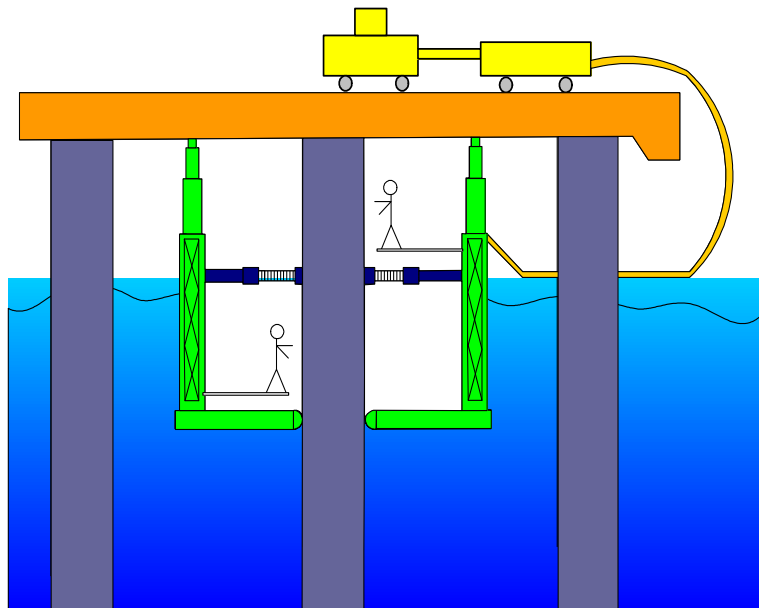


Fig. 3.23 Schematic diagram for maintenance work  
with DPCM 2

### 3.2 DPCM의 특징

해상 부양식 건식케이슨으로 수면 하에서 건조상태의 환경을 제공하여 작업하는 공법의 구체적인 공정내용은 다음과 같다. 이것은 수중 철제구조물에 대한 경제적인 유지보수를 위해 특별히 고안 제작된 건식케이슨(DPC, Dry Process Caisson)을 해상의 철제구조물에 설치하여 각종 검사, 손상부에 대한 보강수리, 코팅, 그라우팅을 시행함으로써 철제구조물의 수명을 반영구적으로 유지시킬 수 있는 공법이다.

주로 비말대 부위 및 ALWC (Accelerated Low Water Corrosion) 부분에서 발생하고 있는 철제구조물의 극심한 부식, 손상부를 전기용접으로 보강한 뒤 sand blasting을 통하여 철제표면의 부식부분에 대해 완전히 표면처리한 후 내부식성이 강한 도료를 선택하여 도장함으로써 구조물의 잔류수명을 대폭 증가시키는 것을 목표로 한다. 이 과정에서 장비내의 물을 완전히 배수시켜 모든 부대공사를 건조상태에서 시행하고, 철제구조물의 파공으로 인한 배면의 토사가 유출된 경우에는 그라우팅공법 등 적절한 공법을 통하여 지반보강공사도 할 수 있는 장점이 있다.

DPCM에 의한 수중 구조물의 보수·보강 공법은 수중구조물의 형태와 크기에 따라 제작과 조립시 작업성이 우수한 강재케이슨과 고무의 유연성, 신축성을 응용한 수밀패킹재의 특성을 결합시켰으며, 구조적인 측면에서는 안정성이 탁월한 격실형 원형구조로 구성하였으며, 강재케이슨을 2개의 부분으로 나누어 규격화하여 제작, 조립 후 수중에서 부상시켜 이동이 용이한 상태에서 구조물에 연결한 후 내측의 물을 배제하고 건조상태의 작업공간을 제공하는 가물막이 공법이다.



본 연구를 통한 집약된 기술은 다음의 4가지 형태로 구분할 수 있다.

- ① 이단 조립식 원통형 물막이 장치로 좁은 간격으로 시공된 강관에 쉽게 케이슨을 조립 및 해체할 수 있는 기술
- ② 이단 조립식 원통형 물막이 장치의 중앙부(해상강관 접촉부), 바닥면 및 원주부(케이슨 이음부)의 고무패킹재를 외부수압에 의해 서로 밀착시켜 유입수를 차단하는 기술
- ③ 전식케이슨에 6개의 격실을 두어 해상 또는 수상에서 부상, 경사와 깊이를 조정할 수 있어 작업상 안전성을 확보하고 구조물로의 이동을 간편하게 하는 기술
- ④ 잔교형 돌제 하단에 인위적 구조물 손상이 없이 작업공간의 확보와 지지를 부력으로 유지하는 기술

육상 및 해상에서의 제작이나 운반, 설치, 조립작업의 원할을 위해 장치를 좌우로 분할하여 규격화하였으며, 우리나라 서해안 및 남해안과 같이 조차가 극심한 해역에서 손쉽게 비말대 구간에서 작업이 이루어질 수 있도록 케이슨 하부에 유압식 차수장치를 부가할 수 있도록 설계하였다. 모든 연결부는 고무패킹재를 부착하고 수압에 의해 수밀이 이루어지나 볼트를 체결할 수 있도록 하여 연결부의 안정성을 확보토록 하였다.

지금까지 접근성이 어려웠던 수중구조물의 점검이나 유지관리 문제를 본 기술을 적용하면 완전해소가 가능하며, 특히 동일한 규격의 구조물에 대하여는 반복사용이 가능하므로 강관파일이 많은 잔교식 부두나 돌핀의 보수공사에 적용할 경우 작업시간의 절약, 작업효율의 향상과 공사비의 경감으로 인한 경제성이 두드러지는 공법이다.

### 3.3 DPC의 기초 설계

실질적인 모델 제작에 앞서 장비를 설계하게 되었다. 각 도면은 정면, 평면, 측면, 단면에 대하여 세부적으로 작성하여 실제 모델을 제작하는데 있어 어려움이 없도록 제작하였다.

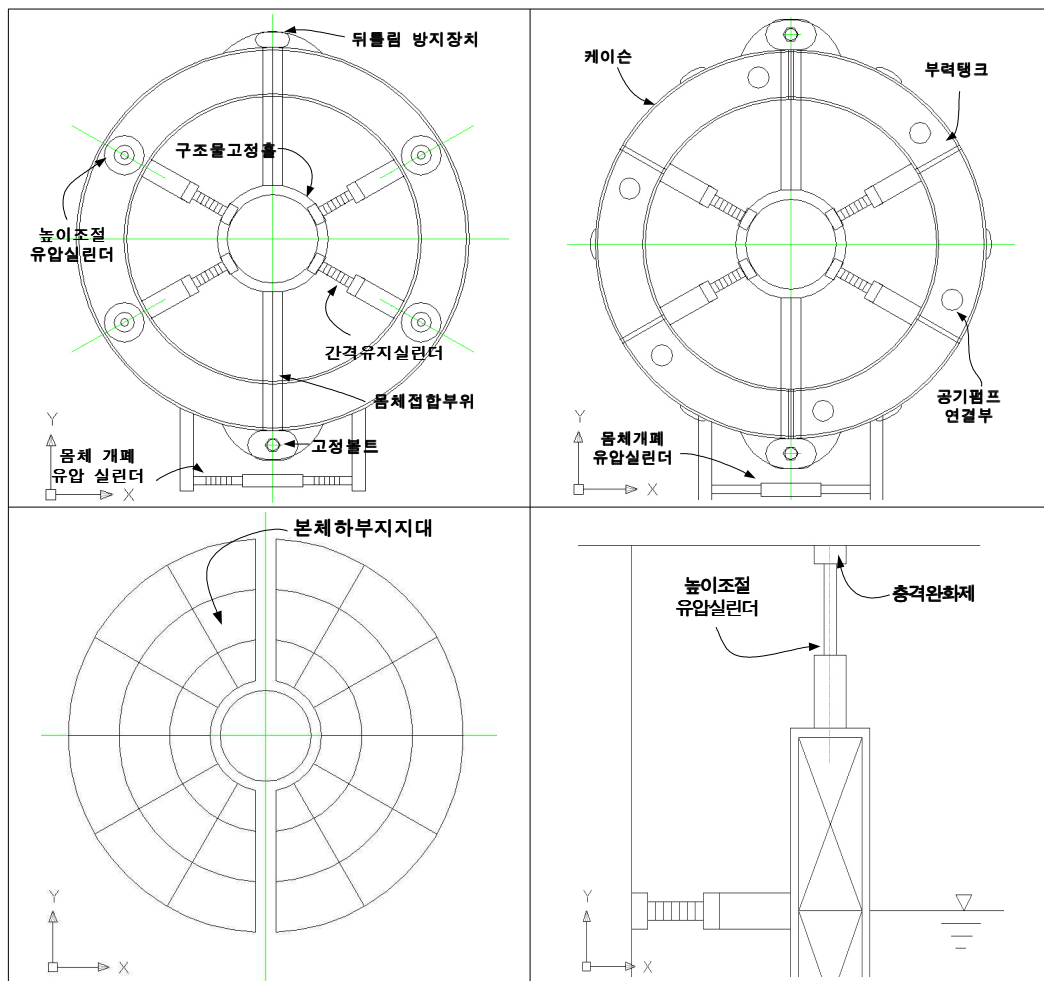


Fig. 3.24 Plan Drawing and Parts Detailed Drawing

Fig. 3.3은 평면에 대한 부품들의 세부명칭이다.

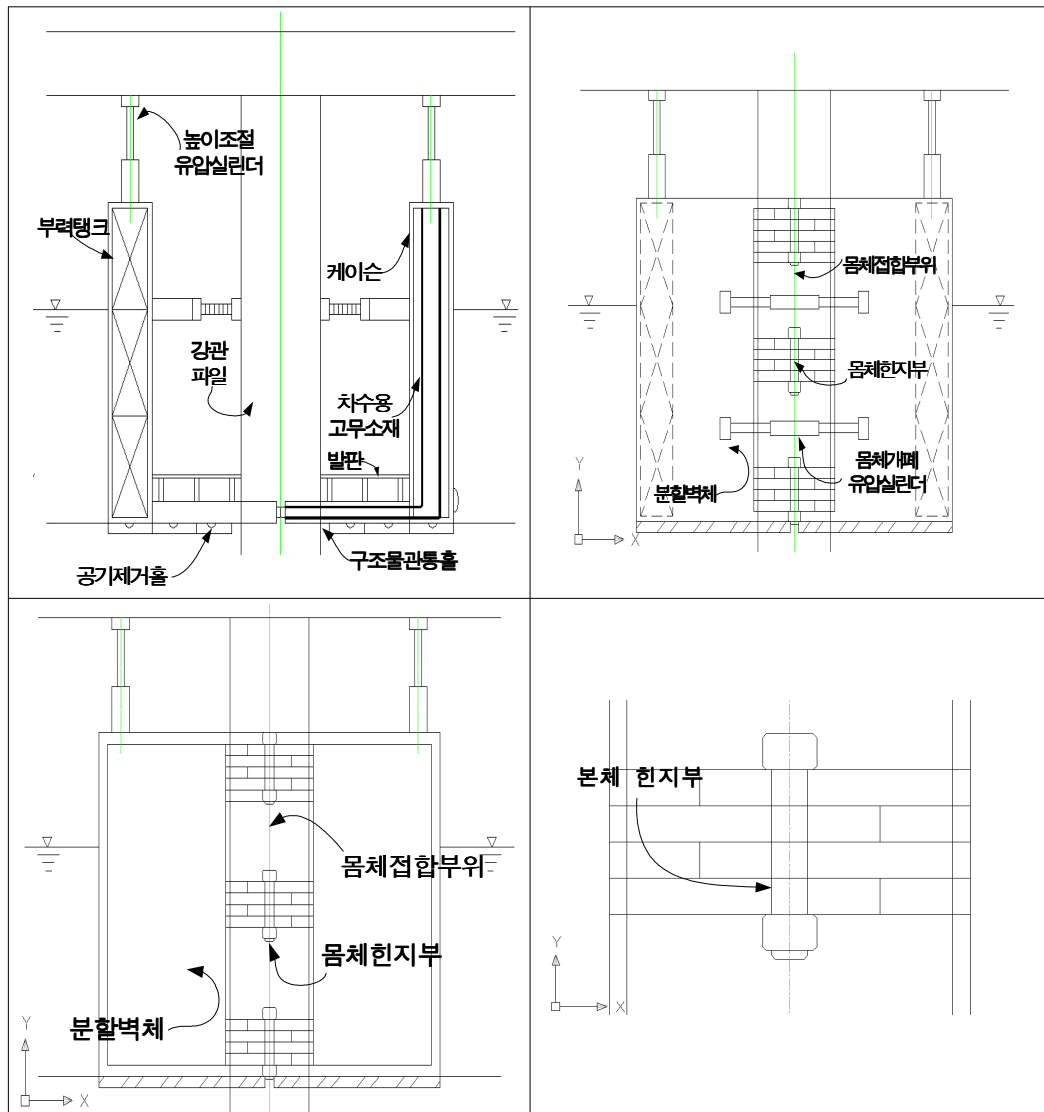


Fig. 3.25 Sectional Drawing and Parts Detailed Drawing

Fig. 3.4는 단면 및 정면 대한 부품들의 세부명칭이다. 각 부품들의 특징은 모형제작과 실물제작 부분에서 자세하게 설명한다.

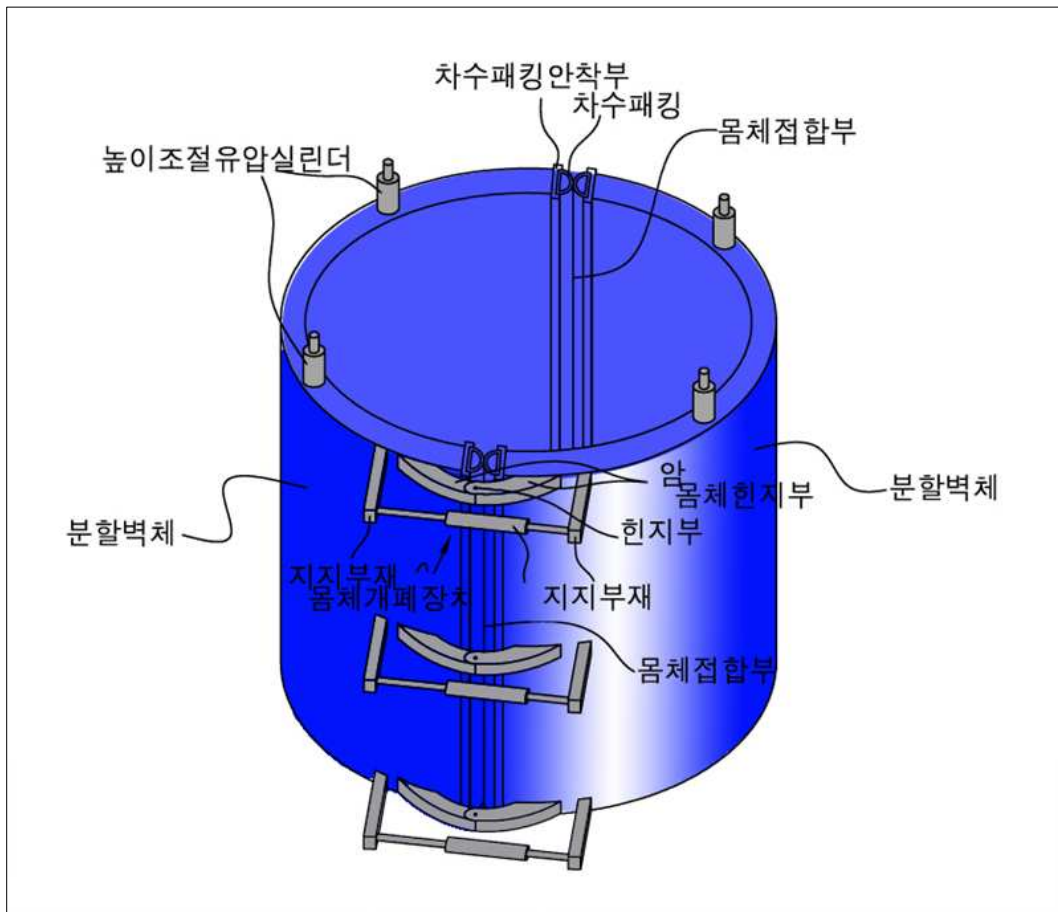


Fig. 3.26 Solid Drawing

Fig. 3.3, Fig. 3.4, Fig. 3.5을 기초로 하여 모델제작과 실물 제작을 하게 되었다. Fig. 3.5 도안은 개념도로서 실물과 다소 차이가 발생하였다.

### 3.4 모형 제작 및 외력 계산

#### 3.4.1 모형의 제작

우선 실물 제작에 앞서 모형을 제작하였다. 모형의 상사는 1/6로 하였고 재질은 아크릴로 제작되었다.

아크릴(ma)의 비중은 1.19 철근(p) 7.85 로 약 6배 차이가 있었다.

Fig. 3.6은 실물과 비슷하게 재현한 모형의 사진과 명칭들이다.



Fig. 3.27 Front view of DPC Model

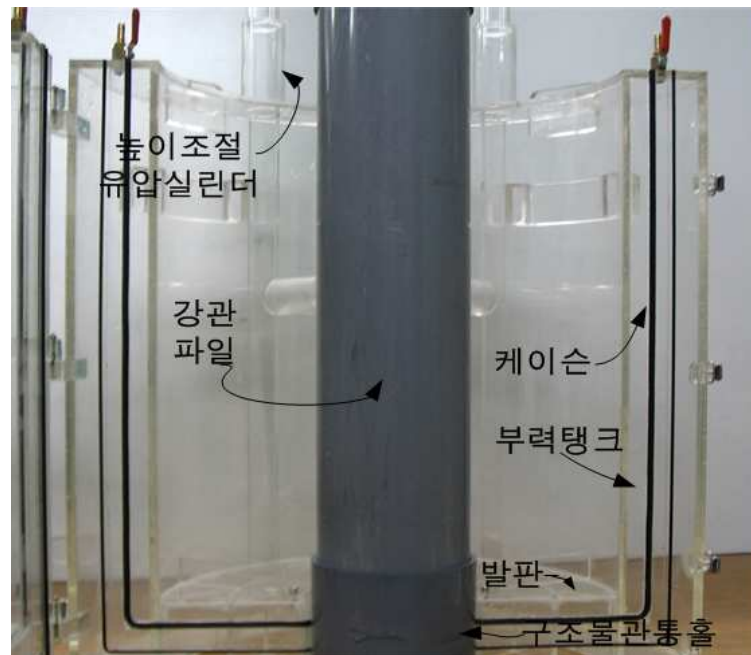


Fig. 3.28 Section view of DPC Model 1



Fig. 3.29 Section view of DPC Model 2



Fig. 3.30 Plan view of DPC Model



Fig. 3.31 Holding kit of DPC Model

### 3.4.2 모형의 외력계산

#### 1) 모형의 수압계산

아크릴 모형을 이용하여 실물이 수중에 부상할 수 있는지 계산해 보았다. 수압의 경우 밸러스트 탱크를 내제 하고 있기 때문에 이동시와 고정시 두 부분으로 나누어 계산을 실시하였다.

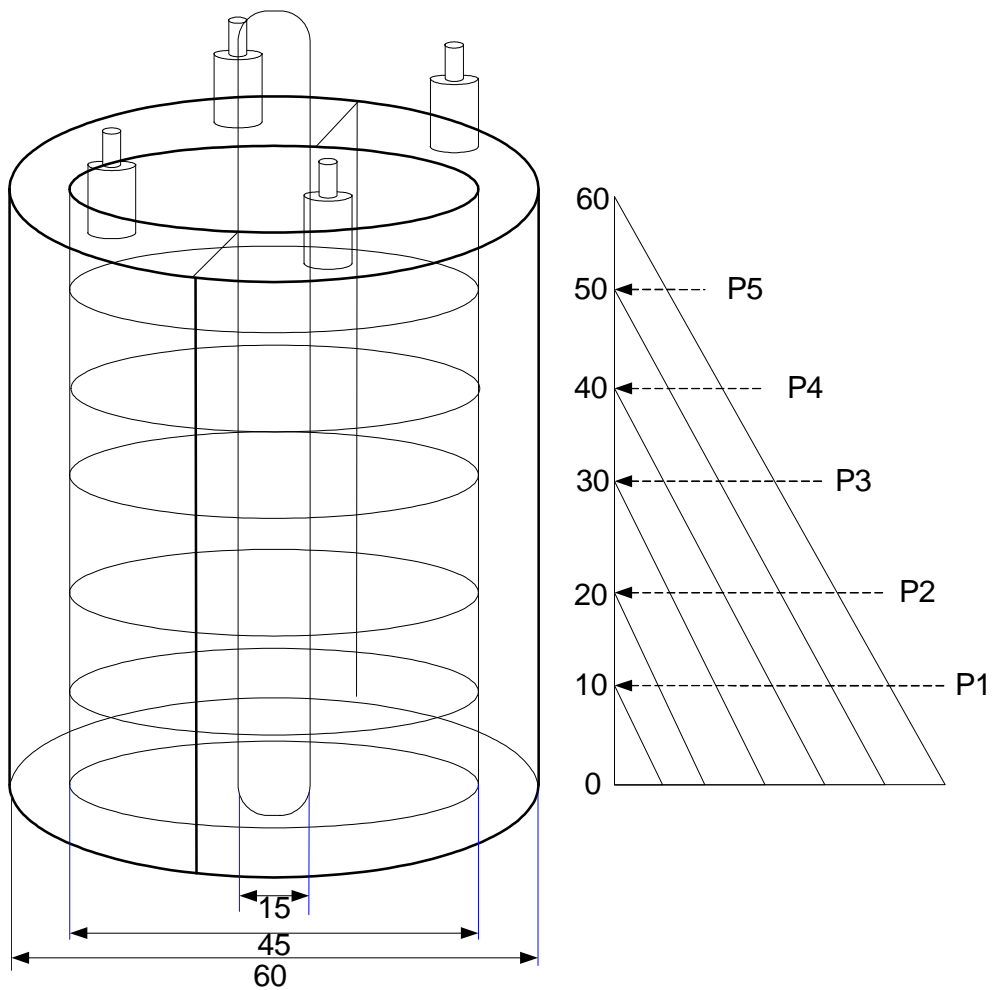


Fig. 3.32 Water Pressure Fig. for buoyancy Pressure account



### **a . 고정시**

강관에 장치를 고정하였을 경우 중심 접촉부로는 수압이 작용하지 않고 가  
장자리인 수면하의 외단에서만 작용한다.

장치의 수압  $P = \omega h_c A$

$\omega$  : 물의 단위중량,

$h_c$  : 물체의 도심까지 수심

$A$  : 수중에 접하는 물체의 총수직 면적

$$10\text{cm} ; P_1 = \omega h_c A_1 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.10}{2} \text{ m} \times 0.188 \text{ m}^2 = 0.0097 \text{ tonf} = 9.7 \text{ kgf}$$

$$20\text{cm} ; P_2 = \omega h_c A_2 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.20}{2} \text{ m} \times 0.377 \text{ m}^2 = 0.0386 \text{ tonf} = 38.6 \text{ kgf}$$

$$30\text{cm} ; P_3 = \omega h_c A_3 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.45}{2} \text{ m} \times 0.565 \text{ m}^2 = 0.0869 \text{ tonf} = 86.9 \text{ kgf}$$

$$40\text{cm} ; P_4 = \omega h_c A_4 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.40}{2} \text{ m} \times 0.754 \text{ m}^2 = 0.1546 \text{ tonf} = 154.6 \text{ kgf}$$

$$50\text{cm} ; P_5 = \omega h_c A_5 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.50}{2} \text{ m} \times 0.942 \text{ m}^2 = 0.2415 \text{ tonf} = 241.5 \text{ kgf}$$

$$60\text{cm} ; P_6 = \omega h_c A_6 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.60}{2} \text{ m} \times 1.131 \text{ m}^2 = 0.3478 \text{ tonf} = 347.8 \text{ kgf}$$

## b . 이동시

이동시에는 결합된 부분을 이등분하여 부채형으로 펼쳐서 강관사이를 빠져 이동하게 되므로 발라스트탱크의 수위가 절반이상 들어가 있지 않으면 전도되며, 또한 wstndkq의 크기는 분리된 단면의 면적이 늘어나 증가된다.

$$\text{장치의 수압} \quad P = \omega h_G A$$

수면하 부분에 따른 전수압의 크기 (외면 + 내면 + 고무패킹 면)

$$10\text{cm} ; P_1 = \omega H_G A_1 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.10}{2} \text{ m} \times 0.345 \text{ m}^2 = 0.0177\text{tonf} = 17.7\text{kgf}$$

$$20\text{cm} ; P_2 = \omega H_G A_2 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.20}{2} \text{ m} \times 0.690 \text{ m}^2 = 0.0707\text{tonf} = 70.7\text{kgf}$$

$$30\text{cm} ; P_3 = \omega H_G A_3 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.30}{2} \text{ m} \times 1.035 \text{ m}^2 = 0.1591\text{tonf} = 159.1\text{kgf}$$

$$40\text{cm} ; P_4 = \omega H_G A_4 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.40}{2} \text{ m} \times 1.379 \text{ m}^2 = 0.2828\text{tonf} = 282.8\text{kgf}$$

$$50\text{cm} ; P_5 = \omega H_G A_5 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.50}{2} \text{ m} \times 1.724 \text{ m}^2 = 0.4419\text{tonf} = 441.9\text{kgf}$$

$$60\text{cm} ; P_6 = \omega H_G A_6 = 1.025 \text{ t/m}^3 \times \frac{0.60}{2} \text{ m} \times 2.069 \text{ m}^2 = 0.6363\text{tonf} = 636.3\text{kgf}$$

## 2) 부력

이동 및 고정시 모형의 발라스트 탱크내 수위의 적정수준을 계산하고 아울러 탱크내 수위의 변화에 따른 총부력의 변화를 검토하였다.

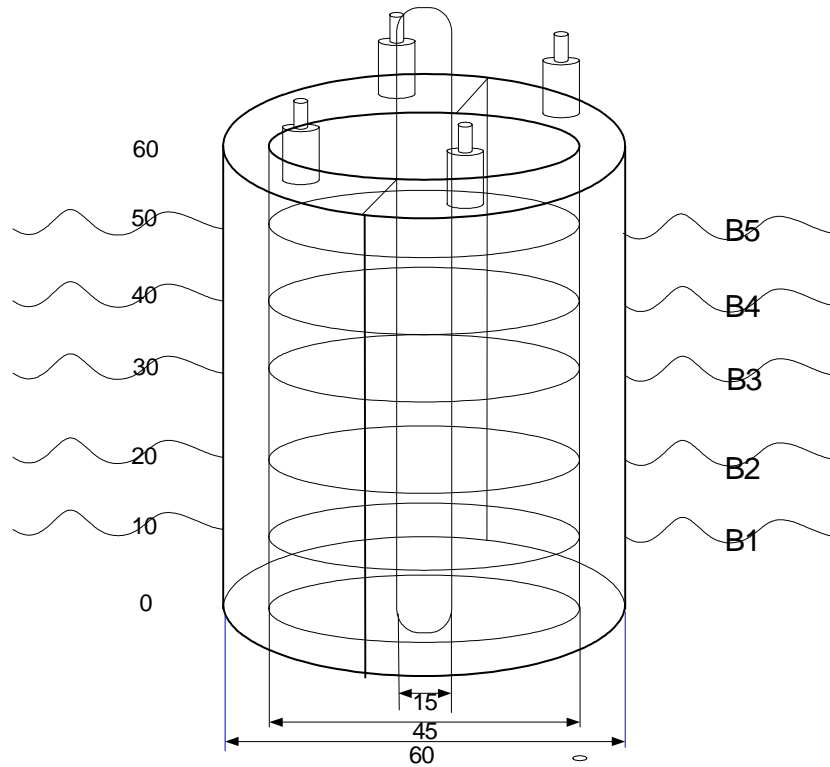


Fig. 33 Schematic diagram for buoyancy force depending on water level

물의 단위체적중량  $1000\text{kgf/m}^3$

아크릴의 단위체적중량  $1180\text{kgf/m}^3$

아크릴의 질량  $28\text{kgf}$

아크릴의 체적  $1180 * v = 0.028$

체적은  $= 0.023728 \text{ m}^3 = 23728 \text{ cm}^3$

**a. 이동시 물의 채움 높이**

$$B = \gamma' \times V = 1.025 \times \{(\pi \times 0.3^2 \times 0.6) - (\pi \times 0.225^2 \times 0.6)\} = 0.07607tf = 76.07kgf$$

$$-F + B = 0$$

$$F = \text{아크릴수조무게} + \text{수조안물의무게}$$

$$-0.028 - 1.025 \times \pi \times (0.3^2 - 0.225^2) \times d + 0.07607 = 0$$

즉, 부력과 일치하는 정도의 무게 W 와 같은 무게로 되기 위한 구조물의 최소홀수 d 는

$$\therefore d = 0.3791m = 37.91cm \text{ 가 된다.}$$

**b. 고정시 부력 크기 계산**

(45cm 탱크내에 해수를 함유하였을 경우)

$$\text{전체 부력 작용 바닥면적} = (0.30^2 - 0.07^2) \times \pi = 0.267m^2$$

$$\text{아크릴 자중} = 0.028tf$$

$$\text{부력탱크내 해수의 자중} = \text{해수의 단위중량} \times \text{체적}$$

$$20cm ; 1.025 tf/m^3 \times (0.3^2 - 0.225^2)m^2 \times 3.14 \times 0.2m = 0.025 tonf$$

$$30cm ; 1.025 tf/m^3 \times (0.3^2 - 0.225^2)m^2 \times 3.14 \times 0.3m = 0.038 tonf$$

$$40cm ; 1.025 tf/m^3 \times (0.3^2 - 0.225^2)m^2 \times 3.14 \times 0.4m = 0.051 tonf$$

$$50cm ; 1.025 tf/m^3 \times (0.3^2 - 0.225^2)m^2 \times 3.14 \times 0.5m = 0.063 tonf$$

$$\text{총 부력} = \text{기본 부력} - \text{아크릴 자중} - \text{부력 탱크내 해수의 자중} = 0.267 - 0.028 - 0.025 = 0.214 tonf$$

-부력탱크 내부에 각 레벨의 물을 유입하고 물탱크 속에 각각의 레벨로 투입하여 나타나는 부력을 표시 한 것

(탱크 내에 해수를 20cm 충수한 경우)

$$10cm ; B_1 = 1.025 tf/m^3 \times 0.267m^2 \times 0.10m - 0.028tf - 0.025tf = -0.026 tonf$$

$$\begin{aligned}
20\text{cm} ; B_2 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.025 \text{ tf} = 0.001 \text{ tonf} \\
30\text{cm} ; B_3 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.30 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.025 \text{ tf} = 0.029 \text{ tonf} \\
40\text{cm} ; B_4 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.40 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.025 \text{ tf} = 0.056 \text{ tonf} \\
50\text{cm} ; B_5 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.50 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.025 \text{ tf} = 0.084 \text{ tonf} \\
60\text{cm} ; B_6 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.60 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.025 \text{ tf} = 0.111 \text{ tonf}
\end{aligned}$$

(탱크 내에 해수를 30cm 충수한 경우)

$$\begin{aligned}
10\text{cm} ; B_1 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.10 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.038 \text{ tf} = -0.039 \text{ tonf} \\
20\text{cm} ; B_2 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.038 \text{ tf} = -0.011 \text{ tonf} \\
30\text{cm} ; B_3 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.30 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.038 \text{ tf} = 0.016 \text{ tonf} \\
40\text{cm} ; B_4 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.40 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.038 \text{ tf} = 0.044 \text{ tonf} \\
50\text{cm} ; B_5 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.50 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.038 \text{ tf} = 0.071 \text{ tonf} \\
60\text{cm} ; B_6 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.60 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.038 \text{ tf} = 0.098 \text{ tonf}
\end{aligned}$$

(탱크 내에 해수를 40cm 충수한 경우)

$$\begin{aligned}
10\text{cm} ; B_1 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.10 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.051 \text{ tf} = -0.051 \text{ tonf} \\
20\text{cm} ; B_2 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.051 \text{ tf} = -0.024 \text{ tonf} \\
30\text{cm} ; B_3 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.30 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.051 \text{ tf} = 0.003 \text{ tonf} \\
40\text{cm} ; B_4 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.40 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.051 \text{ tf} = 0.031 \text{ tonf} \\
50\text{cm} ; B_5 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.50 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.051 \text{ tf} = 0.058 \text{ tonf} \\
60\text{cm} ; B_6 &= 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.60 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.051 \text{ tf} = 0.086 \text{ tonf}
\end{aligned}$$

(탱크 내에 해수를 50cm 충수한 경우)

$$10\text{cm} ; B_1 = 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.10 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.063 \text{ tf} = -0.064 \text{ tonf}$$

$$20\text{cm} ; B_2 = 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.063 \text{ tf} = -0.037 \text{ tonf}$$

$$30\text{cm} ; B_3 = 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.30 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.063 \text{ tf} = -0.009 \text{ tonf}$$

$$40\text{cm} ; B_4 = 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.40 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.063 \text{ tf} = 0.018 \text{ tonf}$$

$$50\text{cm} ; B_5 = 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.50 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.063 \text{ tf} = 0.046 \text{ tonf}$$

$$60\text{cm} ; B_6 = 1.025 \text{ tf/m}^3 \times 0.267 \text{ m}^2 \times 0.60 \text{ m} - 0.028 \text{ tf} - 0.063 \text{ tf} = 0.073 \text{ tonf}$$

아크릴로 모형은 부력탱크 내에 약 37cm 정도 충수할 경우 전도에 대하여 안정한 것으로 나타났다. 실제 모델은 아크릴과의 비중이 6배 이상 차이가 난다. 이것으로 가정하여 보면 실제 모델은 밸러스트 탱크의 약 1/5 정도의 충수만으로 안정한 것으로 계산되었고 실제 부양실험에서도 계산결과와 동일하게 나타났다.

이동시에도 부력탱크내의 수위 조절을 통하여 전도의 위험 없이 이동이 가능하였다.

### 3.4.3 수리 실험

실물 제작에 앞서 모형을 제작한후 계산에 의하여 수압 및 부력등 외력을 계산한 결과 충분한 부력 및 작업을 위한 안정도도 확보 되는 것으로 나타났다. 따라서 제작 아크릴 모형을 수조실험실에서 목표한 37.91cm의 흘수를 발라스트 탱크에 물을 채워 지키도록 한 후 Fig. 3.13~3.16 의 실험을 토대로 하여 수압 실험 결과를 정리 분석 하였다.

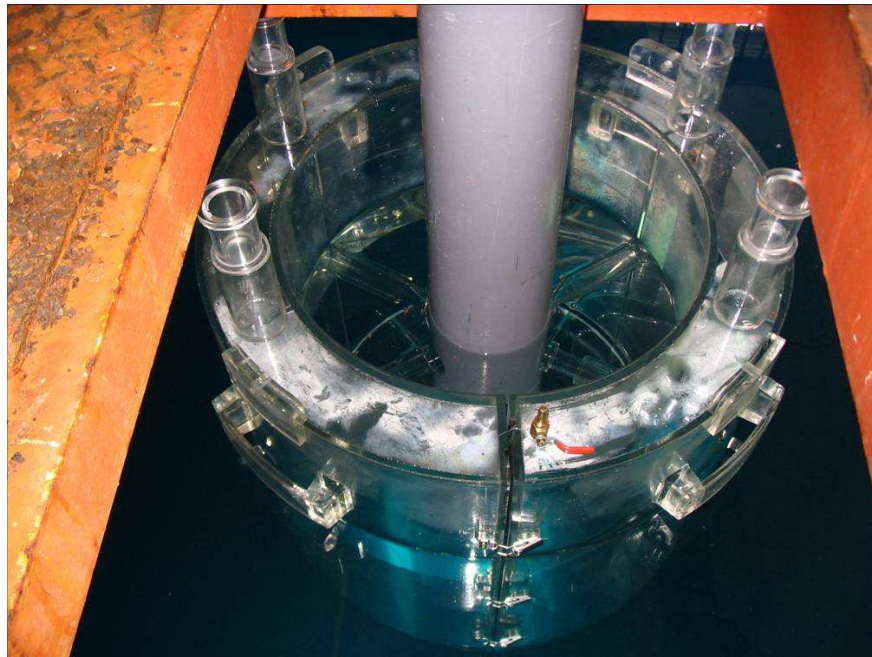


Fig. 3.34 Holding test of DPC Model

수리실험을 부상조건에 대해 파랑을 부가하였을 때와 구조물에 장착후 파랑을 부가하였을 때로 구분하였으며 통상의 항내 파랑인 주기 6sec ~ 12sec 부근에서 항내 파고 0.5m이내의 조건에서는 이상 없이 작업이 가능하다.



Fig. 3.35 Bed Plate Support Test of DPC Model

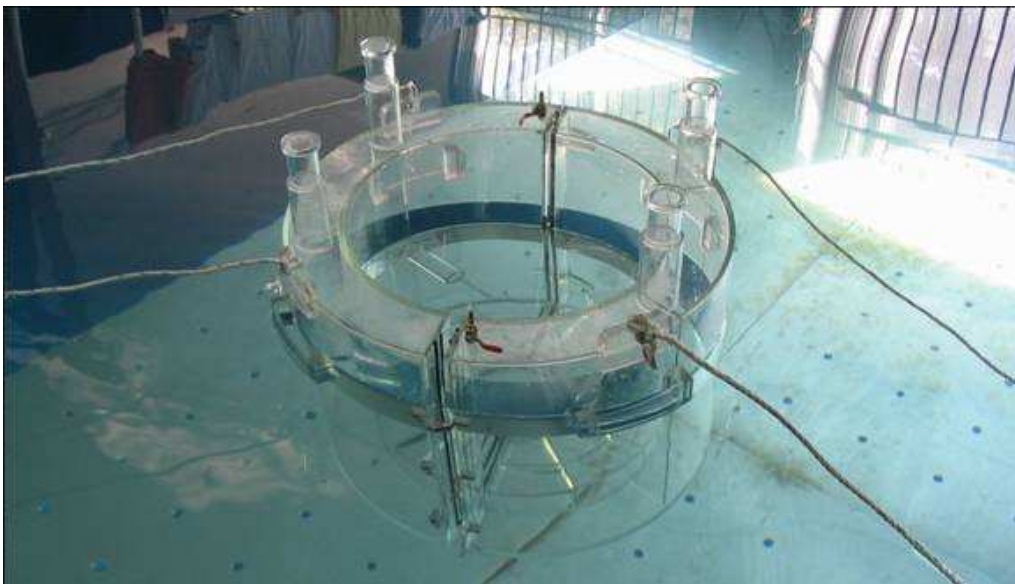


Fig. 3.36 Self Plotting Test of DPC Model (Stop)

부양하여 이동할 때에 가까운 거리에서 항주파가 오는 경우에는 바지나 소형 예선의 보조가 필요할 것으로 분석되었다.



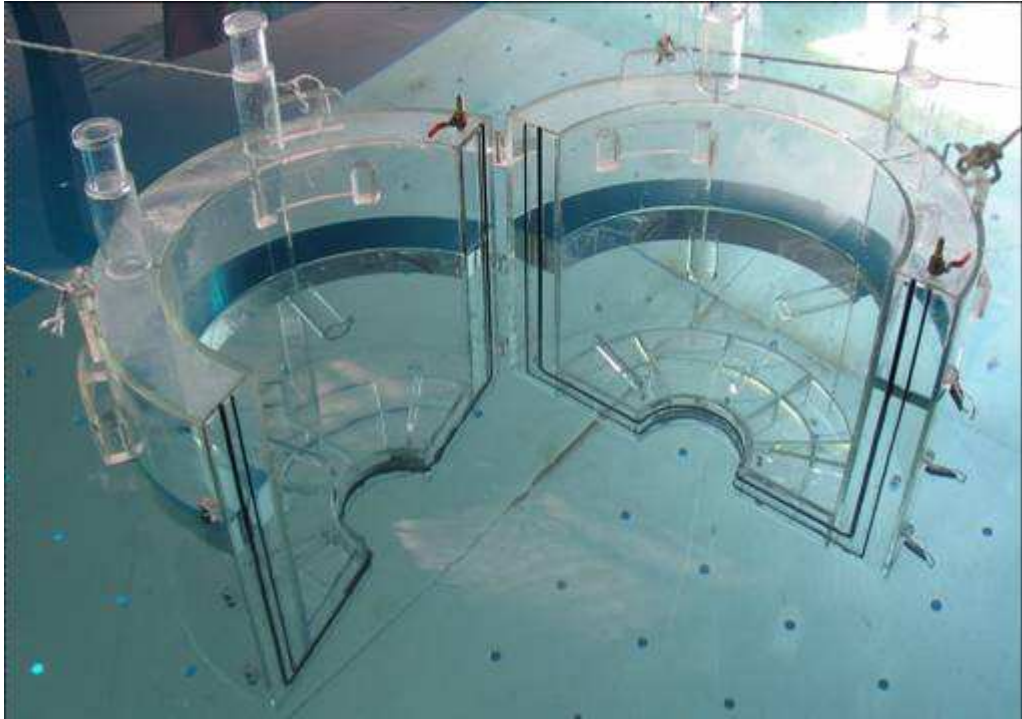


Fig. 3.37 Bed Plate Support Test of Model (Moving)

이 결과로 실제 DPCM을 제작하여 현장 적용시에 작업수순 및 준비단계에서 대책을 검토 하였다.

## 제4장 DPCM의 실형 제작

### 4.1 실형 부품 제작

3장의 모형을 바탕으로 하여 실제 적용을 위한 DPCM 장비를 제작하게 되었다. 모형과는 달리 시공속도는 공사비용과 직결되는 만큼 신속하고 안전하게 보수를 하는 것에 중점을 두었다. 장비의 특징을 살펴보면 수중에서 이동이 신속히 이루어 질수 있도록 하기 위하여 다음과 같은 장치를 구성하였다.

첫째, DPCM의 특징은 6개의 격실을 가진 부력탱크를 이용하여 자체 부양이 가능하며 유압식 실린더를 이용하여 개폐가 가능하다. 한 구간의 작업 완료 후 다음 구간으로 이동하는 시간을 단축할 수 있어 경제성이나 시공성에서 큰 효과를 가져 올 것으로 기대된다. 6개의 격실을 이용하여 수상에서 이동시에도 부력을 조절하여 전도 되지 않게 하였다. 탱크내의 급수와 배수에 사용되는 해수 출입구를 하단에 배치하여 내부 불필요한 호스를 제거 하였다.

둘째, 상판 고정시에 부력으로 조절하기에는 신속함이 부족하여 상판 고정용 유압잭을 별도로 설치하여 신속하고 안전하게 작업공간을 확보하도록 하였다.

셋째, 강관 고정홀은 가변형으로 제작하여 강관의 크기가 변경되더라도 새로운 장비의 제작 없이 가변홀의 변형만으로 현장 투입이 가능하도록 제작하였다.

넷째, 사람의 인력으로 문을 개폐하기에는 위험 요소가 많으므로 내부에 개폐용 유압잭을 설치하여 신속하고 안전하게 개폐가 이루어 질수 있도록 하였다.

#### 4.1.1 DPCM 장비의 구성



Fig. 4.38 Water Gate

실물 제작시 벨러스트 탱크 내부의 해수를 신속하게 유입·유출 하기 위하여 하단에 6개의 해수 유·출입구를 설치하였다. 실물 제작시 유·출입구를 외부에 돌출되도록 제작하였으나 차후에 제작될 모형들은 내부에 삽입하여 외부 점유 공간을 최소화 하여 좁은 공간에서도 방해가 되지 않도록 할 예정이다.(Fig. 4.38)

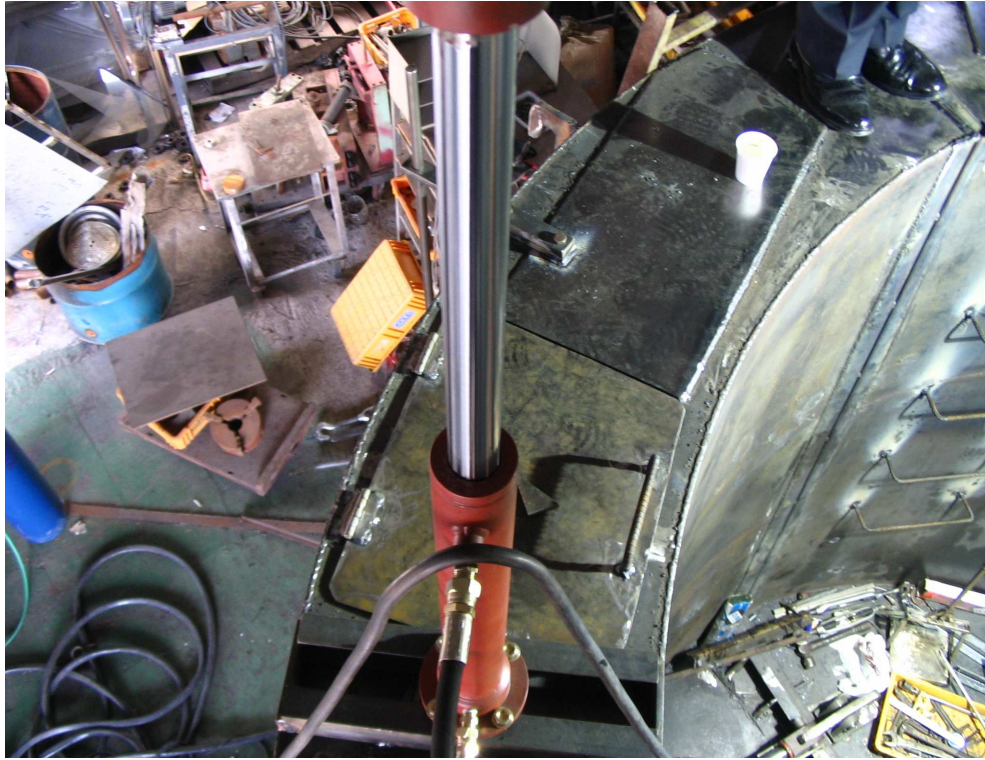


Fig. 4.39 Height Control Hydraulic Cylinders

상부 지지용 유압 실린더 강관 말뚝 보수시 외부 파력이나 선박으로 인한 항주파등의 위험성을 피하기 위하여 상관 지지용 실린더를 장착하였다. 상부 실린더의 다른 기능은 부력으로 상부를 지지할 수도 있지만 작업준비 공정을 최소한으로 줄이기 위하여 강관 말뚝 1본을 보수 후에 실린더만 내려서 부력 탱크를 조절하지 않고 바로 다음 작업 구역으로 이동하여 고정할 수 있도록 고안 되었다. 향후 개발시에는 외부로 돌출된 유압호스를 부력탱크 내부로 삽입하여 작업자에게 있을지 모를 미지의 위험을 사전에 제거할 예정이다.(Fig. 4.39)





Fig. 4.40 horizon Control Hydraulic Cylinders

강관말쪽에 장비를 고정하고 외부 과력에 대하여 안정을 유지하기 위해서 내부 고정용 실린더를 장착하였다. 강관말쪽과 장비가 안정적으로 고정되었을 때 내부에 해수를 배출하고 상부실린더를 조정하여 상부콘크리트에 고정한 후에 내부 실린더는 부식처리를 위해서 제거한다.

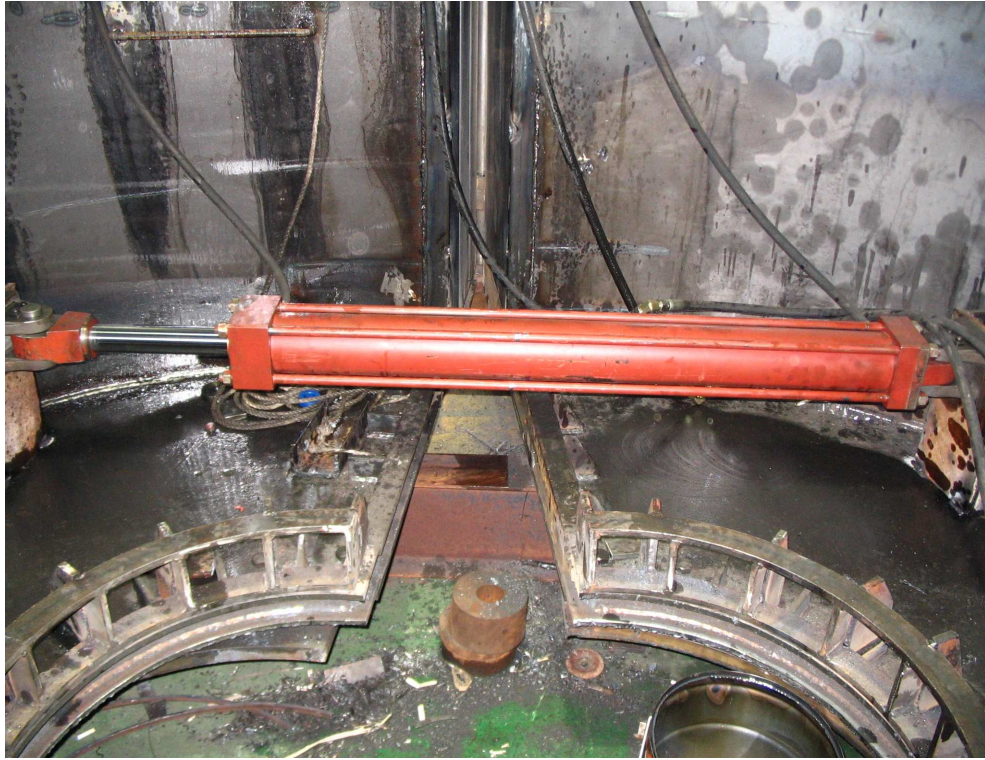


Fig. 4.41 Body Open & Close Hydraulic Cylinder

인력으로 6 Ton 크기의 케이슨을 열고 닫는 것은 현실적으로 불가능하다. 수중에서 작업하기 때문에 열고 닫는 것이 가능할 수도 있다. 외부의 파력이나 항내 선박의 운항으로 인하여 작업시에는 항상 위험이 존재한다. 이에 따라 최후에 도장공이 들어가서 작업하기 전까지는 기계식으로 처리를 하여 위험인자를 줄였다. (Fig. 4.41)

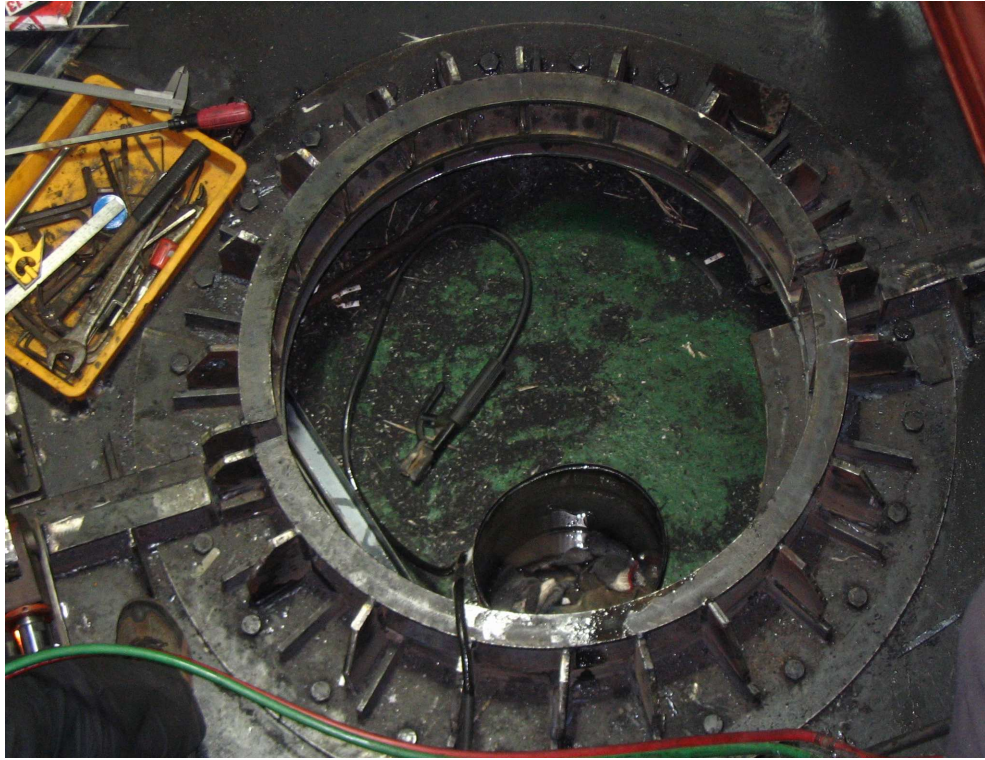


Fig. 4.42 Variableness Holder for Pile Fix

1개의 강관을 보수하기 위해서 장비를 개발하는 것은 큰 비용이 소요된다. 현재 국내에 가장 많이 사용되는 잔교식부두 강관 말뚝 1본의 크기는 800mm, 900mm, 1000mm 이다. 이에 따라 내부의 고정홀을 가변형으로 제작하여 각 크기별로 적용 보수 할 수 있도록 제작하였다. (Fig. 4.42)





Fig. 4.43 Working Floor

가상적으로나 개념적으로는 완벽한 방수가 되어야 하지만 실제 작업 현장에서는 강관의 크기가 완벽하게 맞지 않을 수도 있고, 해수중의 수압으로 인하여 침투수가 발생하게 된다. 이것을 막기 위하여 내부에 일정 수위를 유지하여 침투수가 높이 치솟는 것을 방지하고 도장공은 건식환경 속에서 작업을 할 수 있다.

이번 실물 제작에서는 하부에만 작업자를 위한 발판을 장착하였지만 차후에 제작될 장비에는 상층부에서도 작업을 할 수 있도록 상부에도 발판을 장착할 예정이다.(Fig. 4.43)





Fig. 4.44 Holding in DPC

현장에서는 언제 어떤 위험이 발생할지 예측 할 수 없다. 외부에서 수압으로 장비를 잠금상태로 유지하여 주지만 혹시나 모를 위험에 대비하기 위해서 내부에 잠금장치를 제작하였다.(Fig. 4.44)



Fig. 4.45 Sanding Machine

현장에서 사용된 오염물질 및 녹을 제거하기 위한 샌딩 장비이다. 좌측 하단은 샌딩에 사용된 모래이다. 샌딩을 위해서는 SIS sa 2.5 규격의 모래를 사용하였다. (Fig. 4.45)



Fig. 4.46 Hydraulic Pump

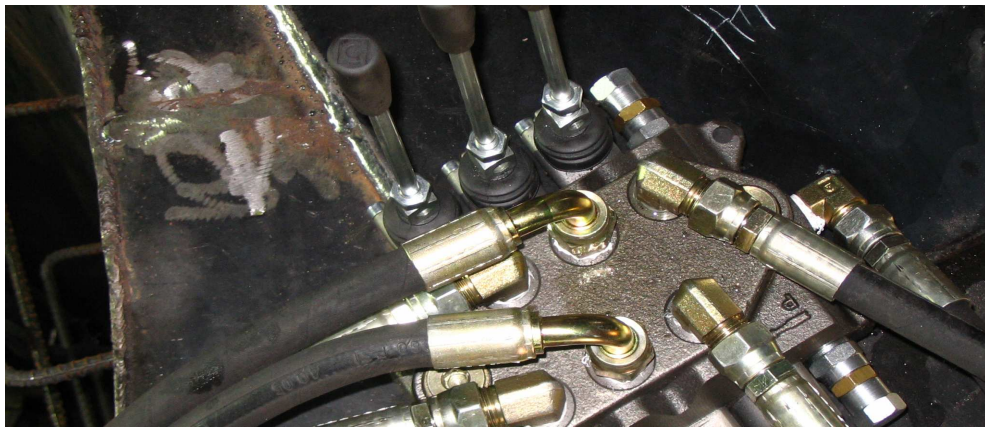


Fig. 4.47 Hydraulic Pipe and Controller

본 장비는 내부 개폐용 유압실린더, 강관 고정용 내부 실린더, 상부 지지용 실린더의 유압 공급 장치이다. 출력은 7.5 kw 이고, 효율은 85.5 % 이다.



#### 4.1.2 DPCM의 기타장비

해상구조물 보수시에는 DPC본체만으로는 보수 작업을 수행할 수 없다. DPC 의 본체 구성품을 제외한 기타 구성 장비들을 아래와 같이 정리 하였다.



Fig. 4.48 Pollution Protection Fence

케이스 내부에서 오염물질들을 배출할 수 있지만 혹시나 모를 오염사고를 대비하여 오탁방지막을 설치하였다.



Fig. 4.49 Other Equipment of Work

이 공법에 소요되는 장비의 구성은 육상에서 발전기, 공기압축기, 유압잭, 샌딩기, 고압수세척기, 도장기기가 필요하며, 해상에서는 건식케이스 및 폰툰 (Pontoon)으로 되어있다

## 4.2 DPCM의 현장 적용

### 4.2.1 방식작업의 일반적인 순서

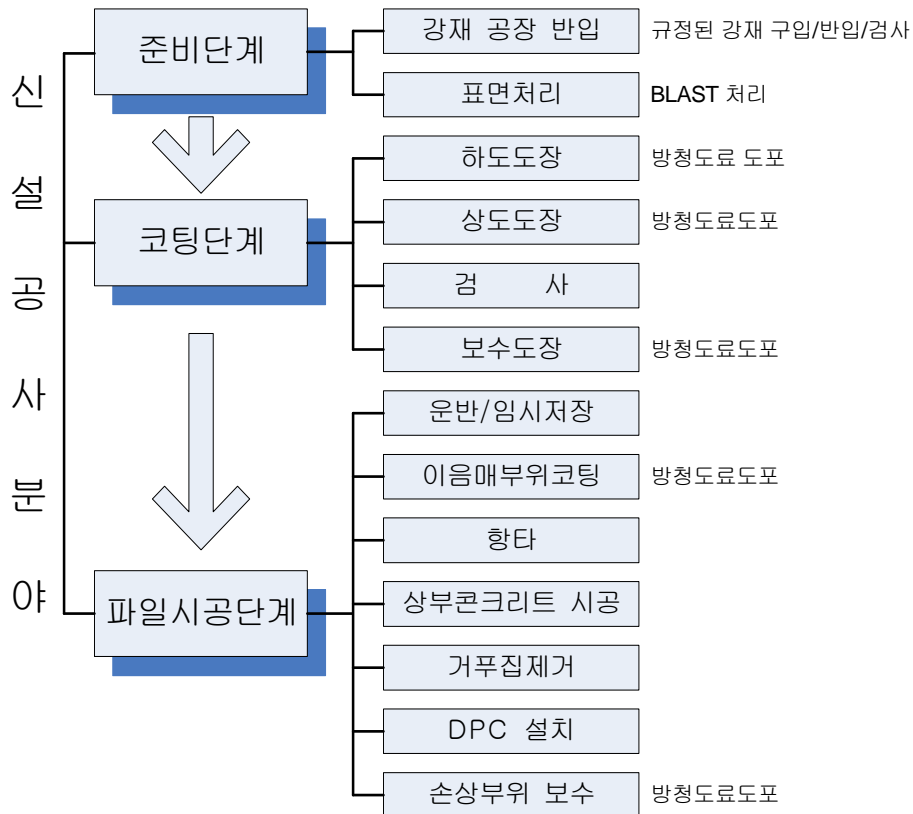


Fig. 4.50 Flow Chart of New Construction

일반적인 신설 강관타설 공사의 방식처리 공정순서는 Fig. 4.50과 같다. 육상에서 일차적인 강관 도장은 실시하여서 현장에 투입되지만 해상의 조건과 맞지 않는 도료일 경우가 많다. 뿐만 아니라, 타설시에 균열이 발생하므로 타설 후에도 2차적인 방식 작업을 실시하여야만 한다.

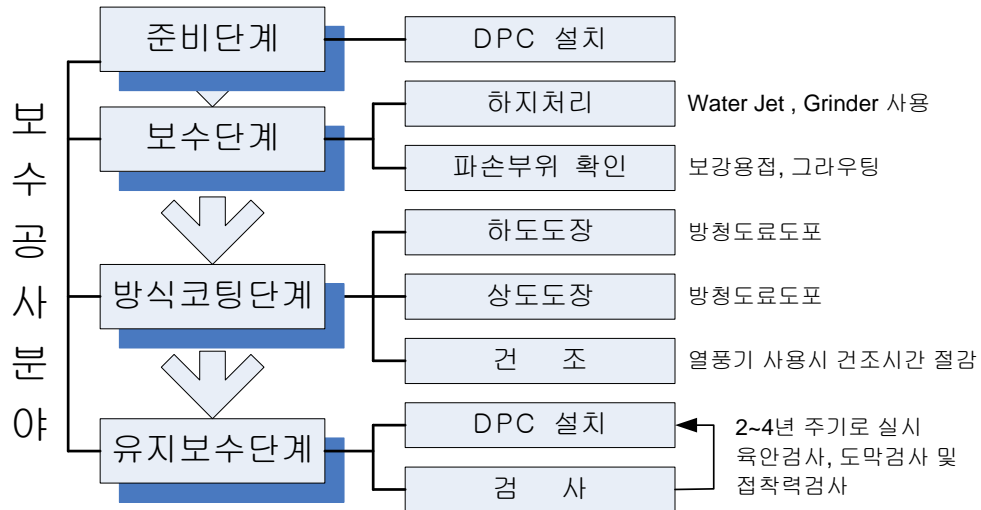


Fig. 4.51 Flow Chart of Repair Construction

Fig. 4.51 는 방식보수공사의 일반적인 수준이다. 신설부분에서 타설부분을 제외하고 대부분의 신설공사의 순서와 동일하다.

#### 4.2.2 DPCM의 유의사항

국내에서 최초로 시도된 부유식 보수·보강 장비이므로 수많은 시행착오를 겪은 후에 만들게 되었다. 작업 시 유의사항은 다음과 같다.

- ① 작업장은 항만 내의 경우가 많으므로 이동선박의 항주파에 주의한다.
- ② 상부콘크리트와 해수면사이의 공간이 좁은 경우 약최저저조면에서 작업을 실시한다.
- ③ 서해안과 같이 상관과의 간격이 큰 경우 장비이탈에 주의한다.
- ④ 장비를 해상에서 이탈시 배수를 하면서 천천히 들어올린다.
- ⑤ 부력탱크내부 수위를 수시로 확인하여 장비가 수중에 가라앉지 않도록 주의한다.



### 4.2.3 DPCM 제원



Fig. 4.52 Specification of Constructed DCPM

Table 4.8 Specification of Constructed DCPM

외부직경	3.8 m	밸러스트 탱크	6개 격실
내부직경	2.8 m	상판거치 유압	4개
높 이	2.5 m	내부개폐실린더	1개
총하중	5.2 t	강관고정 홀더	4개
강관직경	0.8m , 0.9m , 1.0m 가변형으로 제작		

DCPM의 제원은 Table 4.1 과 같다.

#### 4.2.4 DPCM 작업순서

건식케이슨 작업공정과정에 대한 일반적 수순은 다음과 같다.

① 크레인을 이용하여 육상에 있는 건식케이슨을 수면에 내리면서 현재 작업할 강관파일(평균해면하  $-0.5 \sim -1.0$  EL)에 조위를 감안하여 케이슨 부력탱크에 물을 채워 강관파일 작업심도( $-0.5 \sim -1.0$  EL)로 조정한다.



Fig. 4.53 DPC Floating

② 건식케이슨 작업심도 조절이 완료되면 건식케이슨을 일자 또는 부채꼴로 벌려 이동 (폰툰 및 모터보트 지원, 잠수부는 이상기상상태에서만 활용), 작업할 강관파일로 이동이 된다.

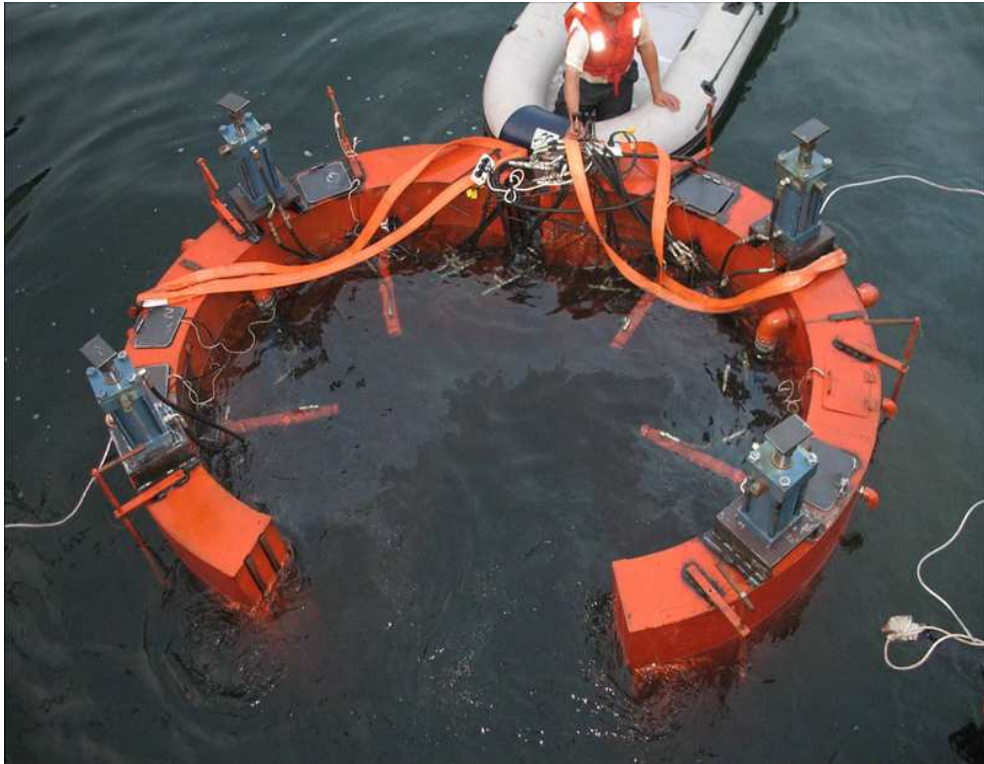


Fig. 4.54 DPC Moving

해상에서 이동시에도 큰 힘을 들이지 않고 작업구간으로 쉽게 이동이 가능하다. 이동시에 항주파나 기타 외력에 의한 인명 손상이나 구조물의 손상에 주의 하여야한다.

③ 작업강관파일에 이동된 건식케이슨을 80%정도 닫은 후 이상유무를 확인하여 완전히 닫음과 동시에 상부 유압잭을 올려 상부구조물에 접하도록 한다. 이후 케이슨 격실내의 물을 배제하여 케이슨의 부력으로 안전지지가 이루어지도록 한다.

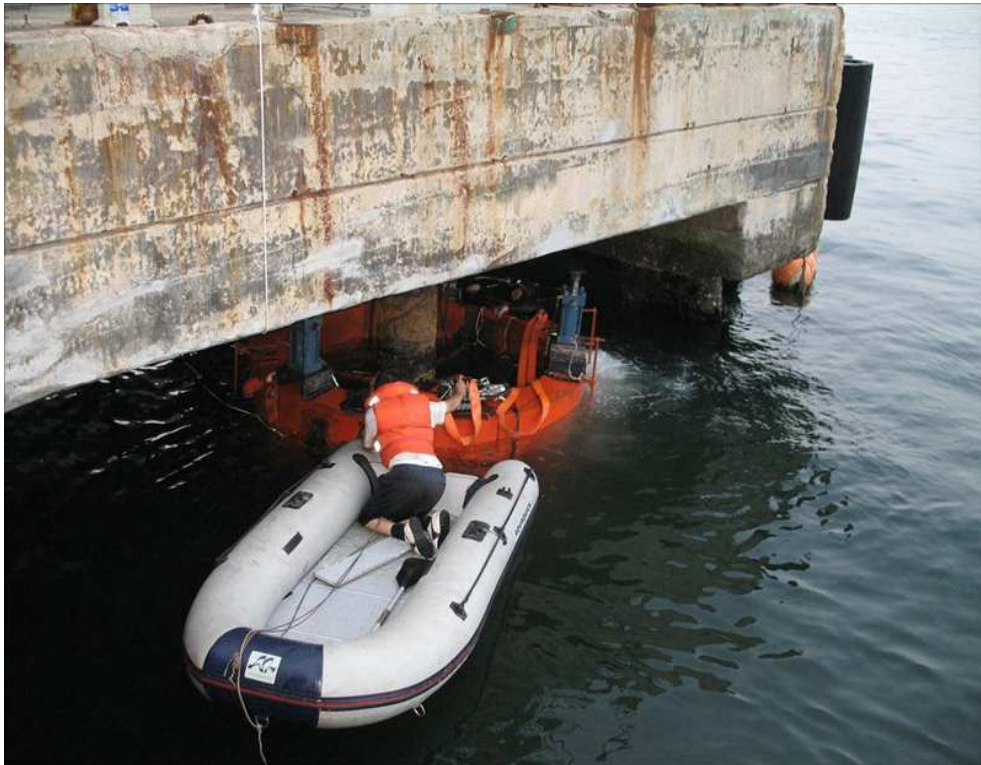


Fig. 4.55 DPC Installation

설치 후 내부에 해수를 제거 하고 있는 모습이다. 내부의 해수를 제거하는 시간을 단축하기 위하여 고효율의 펌프를 내부와 발라스트 탱크에 별도로 장치하였다.



④ 건식케이슨 설치가 완료되면 배수펌프를 이용하여 내부(작업공간)의 배수작업을 한다. 배수 완료 후 보수할 강관파일에 각종 이물질(해조류, 갑각류, 녹, 기타)을 고압수 세척기로 세척한다.



Fig. 4.56 Exposed Working Chamber

부식 상태를 직접 눈으로 확인가능하므로 정확한 보수시 하자가 있는 부분을 정확하게 확인할 수 있다.

⑤ 고압수 세척 완료 후 샌드블라스트로 Sa2.5급으로 샌딩한다. 샌딩후 염화물·기타 검사 후 염화물이 있을 경우에는 청수를 사용하여 샤워한 후 재샌딩 하며 검사규정에 적합해야 한다.



Fig. 4.57 Water Jet and Sand Blasting to The Surface of Steel Pile

작업시에 작업자가 안전하게 작업을 할 수 있도록 내부 유압잭으로 안전하게 강관을 지지하고있는 모습을 볼 수 있다.

⑥ 검사완료 후 샌딩한 강관표면에 발청전 페인트코팅을 하며 페인트 코팅 완료 후 20~30분이 지난 후 건식케이슨에 물을 채우고 케이슨을 개방하여 철거한다.



Fig. 4.58 Dry Coating on the Clean Steel Pile

도료 도색시 해양 특성에 내성이 강하고 접착성이 강한 특수 페인트를 사용 하여야 한다.



⑦ 개방된 케이슨은 다음 작업 파일로 이동하여 ③번 이후의 방법으로 반복  
시공하면 된다.



Fig. 4.59 Finished Maintenance Work

Fig. 4.15에서 Fig. 4.21 까지의 순서로 보수작업을 수행하게 된다 .



#### 4.2.5 DPCM의 기대효과 및 응용

간단하게 DCPM의 기대효과를 정리하여 보면 다음과 같다.

##### 1 기술적 기대효과.

최근 건설구조물의 하자기간은 5년에서 10년으로 연장되었다. 건설품질 및 유지관리에 대한 인식의 변화에 따라서 교량, 댐, 항만구조물의 유지관리를 위해 반영구적인 공법으로 활용성이 높다. 지금까지 수중시공에 비해서 수중공사에의 유지관리에 실용화 될 수 있는 공법으로 기대된다.

##### 1 경제, 산업적 기대효과.

업체가 부식사고로 인한 조업단축, 기계장치의 효율저하, 안정성 때문에 입는 손실은 막대하다. 따라서 이러한 부식손실을 줄이기 위해 현재까지 개발된 방식기술을 적용하면 약 25%정도 손실비용을 절감 할 수 있다고 한다.

## 제5장 타 공법과의 비교 및 분석

건식 공법적 측면에서의 경제성과 시공시간을 비교 하여보고, 각종 부식 방지 공법에 대한 경제성 및 시공시간을 비교 하여 분석하였다. 그리고 종합적으로 계산 하였을 때 기존공법 대비 효율성을 비교 분석하였다.

### 5.1 건식공법 측면 분석

우선 시공성 평가에서는 강관말뚝 1본당 소요시간, 소요경비 2가지 측면에 대해서 비교 평가하였다. 해상 강관 말뚝을 기준으로 하였을 때 Sheet Pile 식이 많이 사용 되고 있다. 건식 공법은 공법별로 특성이 틀리고 공사비용면에서 큰 차이를 보이기 때문에 실질적인 금액 비교는 힘든 실정이다. 그래서 단일 강관과일에 대해서 개략적인 시공 시간만을 비교 하였다.

Table 5.9 Time that make dry environment

종류	시공전	시공후	비고
토사 가축도 공법	16시간	16시간	
우물통 공법	8시간	4시간	
SHEET PILE 공법	8시간	4시간	
가물막이공법(C.T)	1시간	1시간	- 특허출원중
DPCM	30분	30분	작업종료후 크레인 없이 바로 이동 가능

1일 작업시간 = 8시간

## 5.2 부식 방지 공법 측면 분석

현재 국내에서 많이 적용 되고 있는 도장 방식과 TAPE 방식공법의 투자비를 비교 분석하였다. TAPE 방식공법의 경우에는 초기 장착비가 많이 드는 반면 도장 공법의 경우 도장에 사용되는 도료를 제외한 나머지 장비들은 재활용이 가능하므로 훨씬 경제적이다. Table 5.2 와 같이 내구연한은 도료 공법이 TAPE 방식 공법보다 성능이 우수하고 초기 투자비도 TAPE 방식 공법의 경우보다 현격히 저렴하므로 타공법보다 신뢰성과 경제성이 뛰어난 것을 알 수 있다(조인케미칼.1999). 각 공법의 일위대가를 Table 5.3과 Table 5.4에 나타내었다.

Table 5.10 Economic comparison of coating method and TAPE Protection method of construction

항목	도장공법	TAPE 방식 공법
도장사양	2,500 $\mu\text{m}$	Petrolatum (2~3mm) PVC Cover (3mm)
방식내구년수	40년 *	20년 *
초기투자비(원/m <sup>2</sup> )	91,406	222,713 (기계경비 제외 금액)

\* 방식 내구년수 (일본해양구조물 방식 지침 동·해설(안) (1990.8.30))

Table 5.11 Day expense of coating method of construction

항 목		규 격	단 위	수 량	단 가	금액(원/㎡)
1.전처리		sis 25	㎡			
2. 자재비						
1) 하도도장		미 제론 RW	kg	0.3	9,000	2,700
2) 상도도장		S-100	kg	5	11,500	57,500
3) 신나		Primer	kg	0.2	1,600	320
4) 신나		Primer	kg	0.5	1,400	700
	소 계					61,200
4. 노무비						
1) 특수도장공		-	인	0.15	60,159	9,023
2) 특별인부		-	인	0.15	49,659	7,448
3) 보통인부		-	인	0.1	33,755	4,375
	소 계					19,846
4. 기계경비						
1) 전용도장기		-	대	1	840	840
2) 공기압축기		-	대	1	1,500	1,500
3) 지게차		-	대	1	1,000	1,000
	소 계					3,340
5. 보수도장			식	1	3,000	3,000
총 계						91,406

조인케미칼 신기술 지정서 (1999.11)

\* 강관말뚝, 육상 도장 작업, 도막두께 2500 $\mu$ m 기준

Table 5.12 Day expense of Tape method of construction

항 목		규 격	단 위	수 량	단 가	금 액(원/㎡)
1. 재 료 비						
1) 페트로 페이스트 테이프		300mm×10mm	R/L	0.8	35,000	28,000.0
2) 페트레딩 테이프		300mm×10mm	R/L	0.5	33,600	16,800.0
3) FRA 보호카바		2,020mm×1,500mm	㎡	1.3	77,190	100,347.0
4) 볼트 & 너트		M12×90mm	Set	4.94	1,000	3,940.0
5) 에폭시		WE 6,000	kg	0.8	14,400	11,520.0
	소 계	-	-	-	-	160,607
2. 인 건 비						
1) 잠 수 부		-	인	0.66	87,712	57,889.9
2) 특별인부		-	인	0.08	48,674	3,894.9
3) 비 계 공		-	인	0.08	66,531	5,332.4
	소 계	-	-	-	-	67,106
총 계						222,713

종합물가정보 II 권 (1999.3)

1999년도 종합물가정보를 이용하였지만 물가가 비례적으로 오른다고 하였을 때에도 91,460원과 222,713원으로 약 2배이상 경비의 차이를 보이고 있다.

## 제6장 결 론

본 연구는 재활용이 불가능한 콘크리트 구조물의 건설을 최소화 하여 환경 친화적이고 재활용이 가능한 자원을 후손들에게 물려 줄 수 있는 수중 강관 파일 구조물의 수명 연장을 위한 장비를 개발하는 목적으로 추진하였다. 장기적인 부식방지를 위해 큰 기여를 할 것으로 예상된다.

해양구조물의 보수·보강을 위해 건조상태의 작업공간을 확보하고자 하는 경우에도 Sheet Pile을 이용한 가물막이 공법 이외에는 대안이 없는 실정으로 보수 및 보강 공사를 위하여 많은 가시설 비용이 소요된다.

지금까지 국내외적으로 강관의 부식을 막기 위해 다양한 방법의 방식처리를 하였지만 육상에서 도료코팅을 한 것만 못한 결과를 가져왔다. 이번에 개발된 건식케이스 공법은 기존의 해상강관 유지보수 뿐만 아니라, 신설될 잔교식 부두에도 활용도가 매우 클 것으로 기대된다.

(1) 본 공법은 건식환경을 제공하면서도 구조물간의 이동을 용이하게 하고 비상시에 이탈이 쉬운 부체구조를 택하였다. 실험 현장 적용에서도 구조물의 장착 등 독립된 작업 흐름에서는 인력 및 작업시간이 30% 이상 절감되는 것으로 나타났으며 작업품질 면에서도 탁월성이 입증되고 있다.

(2) 부유체 건식 공법으로 이동 및 시공 시간을 크게 단축할 수 있어 시공성 및 경제성에서 탁월한 것으로 평가하고 있다. 특히, 조석의 차이가 심한 서해안 지방의 경우 저조시에 신속하게 많은 양의 파일을 보수해야 하는데 유리할 것으로 평가된다.

(3) 잔교식 부두나 교각 등의 설치 후 부식방지 처리 및 상태확인 시에 신

속하고 안전하게 수행할 수 있으며 매년 되풀이 되는 유지 보수 비용을 줄여 시설물 관리비용을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

실제 현장적용 실험에서는 부유실험과 강관 부착 실험 후 건식 환경 실험 및 유지보수시를 성공적으로 실시하였고 강관의 상태를 시공 전·후로 장기 관측하여 성능테스트를 할 예정이다.

현재는 원형 직항식 케이슨을 대상으로 한 장비만 개발이 되었지만, 향후 사항식, 시트파일식, 교각 등과 같은 다양한 구조물에도 적용 가능한 장비를 연구할 예정이다.

DCPM은 해안 강관파일의 보수·보강에 광범위하게 적용할 수 있을 것으로 예측되며, 강관파일이 설치되어 있는 전국 항만의 잔교식 부두를 대상으로 하여, 보수·보강의 작업성을 향상시키는데 기여할 것이고, 향후 잔교식 부두의 신설공사에 사용될 수많은 파일에 본 신기술을 적용할 수 있어, 점차 적용대상이 크게 증가할 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

김기준, 문경만, 이명훈 등, (1998) “해양환경하 강구조물의 최적음극방식에 관한 연구”, 부식방식공학연구소,

신현경 외 (1994) “부유식 해양구조물에 관한 연구”, 초대형 부유식 해양구조물에 작용하는 유체력 추정방법에 관한 연구, 과학기술처, p.51

일본의 건설성 산하 토목연구소, 강관협회 (1990) “해양강구조물의 방식지침·동해설(안)”

일본부식 방식협회 “부식과 방식 대책 사례집”昭和 60년, 해문당.

조인케미칼, (1999). “초후도막 모용제 탄성도료를 이용한 강제해상구조물 방식피복방법”, 신기술지정등록서.

한국건설방식기술연구소, 건설교통부 (1998). “방식기술편람 제1권: 부식이론”.

한국건설방식기술연구소, 건설교통부 (1998). “방식기술편람 제3권: 방식기술”.

한국건설방식기술연구소, 건설교통부 (1998). “방식기술편람 제6권: 용어해설 및 부식자료”.

한국건설 방식기술연구소, (2003). “각종 건설구조물에 의한 부식방식 데이터북”, p.59.



Cassiere A. T. (1991) United States Patent ,Number 4,991,996 .

Harald Andersen ,(1982). Working chamber , United Kingdom Patent ,Number 2,114,636A

Katsutomo Okamoto. (1995). “Cathodic Protection of Steel Structures” , 한국부식학회, 국제학술회의 논문집, p.65.

Park Y. S. (1995). 해양 구조물의 안정성 향상을 위한 스테인리스강의 적용, 한국부식학회, 국제학술회의 논문집, p.193.

Port Technology International, No.7, (1988).

## 감사의 글

인생의 긴 여정속에 하나의 관문을 통과하게 되었습니다. 지금까지 격려해주고 힘이 되어주신 분들에게 지면으로나마 감사의 글을 전합니다.

못난 자식을 믿어주시고 한 평생을 자식들을 위해 고생하신 아버지, 어머니께 감사의 인사를 드립니다.

부족한 저를 연구실에서 공부하게 해주시고 대한민국에 안되는게 어딴나라고 말씀하시며 항상 머뭇거리던 저를 격려해주시고 용기를 주신 이중우 지도교수님께 감사의 인사를 드립니다.

항상 웃으시며 반겨주시고 부족한 논문을 세심하게 심사하여주신 국승기교수님과 경갑수교수님께 감사의 인사를 드립니다. 그리고 학부 시절부터 좋은 말 아끼지 않으시고 항상 조언해주신 김태곤교수님, 김도삼교수님, 김태형교수님께도 감사의 인사를 드립니다.

바다를 공부하며 항상 궁금하고 부족한 부분을 채워주시던 양상용선배님, 허명규선배님, 이상진선배님, 최성룡선배님, 권소현선배님, 신승호선배님, 정대득선배님, 염원기선배님, 김한필선배님, 김지연선배님, 박동진선배님, 정영환선배님 그리고, 부족한 후배들을 챙기며 힘이 되어주신 성철이형, 호형, 도경이형, 상호형, 성환이형, 형철이형, 지훈이형, 우철이형, 위민이형, 태환이형, 동호형 그리고 일선에 계시면서 박사과정에 들어와서 후배들 챙기고 공부시키신 강민이형, 학승이형, 호동이형, 항상 철없던 후배 때문에 고생한 훈이형, 민수형, 연구실의 선배로서 많은 것을 전해주시지 못해서 미안한 동기 재현이, 작업병 승철이, 기담이, 필성이, 막둥이 기대, 감사의 인사를 드립니다.

같이 대학원에 들어와 동고동락한 지민이, 경진이, 기천이, 그리고 꼬봉클럽 행렬, 영배, 나의 사랑하는 동기들과 고등학교 때부터 항상 힘이 되어준 성현, 덕곤, 우근, 오랜 친구 승찬, 경오에게도 고마움을 전합니다.

논문을 쓰는데 큰 도움을 주신 강동산업개발 박승규 대표이사님, 국제항만개발 이정수 전무님, 유치복 사장님께도 감사의 인사를 드립니다.

앞으로도 많이 지켜봐주시고 저를 아시는 모든 분에게 감사드립니다.